

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Průzkumný robot

Exploratory Robot

Student:

Bc. Martin Macháček

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Macháček**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: **Průzkumný robot**
Exploratory Robot

Zásady pro vypracování:

1. Na stávající mobilní robotickou platformu navrhnete a realizujete vhodný řídicí a senzorický subsystém.
2. Zohledněte též požadavek na nasazení robotu do soutěží typu Roboorienteering a podobných.
3. Robot vybavte základním reakčním chováním a prezentujte jej.
4. Vyhotoďte podrobnou technickou dokumentaci.

Seznam doporučené odborné literatury:

JONES, Joseph L., SEIGER, Bruce A., FLYNN, Anita M. *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*. Second Edition, November 15, 1998, ISBN-10: 1568810970, ISBN-13: 978-1568810973.

SIEGWART, R., NOURBAKHS I., L., SCARAMUZZA, D. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. The MIT Press, February 18, 2011, ISBN-10: 0262015358, ISBN-13: 978-0262015356.

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy I*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 123 s.

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy II*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011. 116 s.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

.....

Bc. Martin Macháček

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013

.....
Bc. Martin Macháček

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Martin Macháček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vsetín
Pod Žamboškou 1182
Okr. Vsetín 755 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MACHÁČEK, M. *Průzkumný robot: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2013, 70 s. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Novák

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací řídicího systému a senzorického subsystému. Umístěním elektroniky na stávající podvozek, aby byl schopen vykonávat průzkumnou činnost. V úvodu je provedena analýza stávajících mobilních platforem dostupných ke koupi. Následuje návrh dvou variant elektroniky pro průzkumnou činnost a výběr vhodnější varianty. Pro výhodnější variantu je navrženo umístění, které je realizováno. Následuje řešení programování reakčního chování robotu pro zamyšlenou činnost. Závěrem je zpracován finanční přehled nákladu na realizaci.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MACHÁČEK, M. *The Exploratory Robot: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2013, 70 s. Thesis head: prof. Dr. Ing. Petr Novák

This thesis describes the design and implementation of the control system and sensory subsystem. Placing the electronics on the current chassis to be able to perform surveillance activities. In the introduction is the analysis of existing mobile platforms available for purchase. The following is a proposal of two variants of electronics for surveillance activities and selection of suitable options. The better option is the proposed location, which is implemented. The following is a solution of the reaction behavior of the robot programming for the intended activity. The conclusion is drawn financial report the cost of implementation.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek.....	9
0 Úvod.....	10
1. Analýza	11
1.1. Analýza robotických soutěží	11
1.2. Analýza stávajících mobilních platforem.....	11
1.2.1. Kolové mobilní platformy	12
1.2.1.1. Linxmotin A4WD1 v2	13
1.2.1.2. Dagu Wild Thumper 4WD.....	14
1.2.1.3. Dagu Wild Thumper 6WD.....	16
1.2.1.4. Maverick Scout RC 4WD RTR Rock Crawler	17
1.2.2. Pásové mobilní platformy	18
1.2.2.1. Lynxmotion Tri-Track	18
1.2.3. Výběr mobilní platformy pro průzkumný robot.....	19
1.3. Navržené autonomní roboty	19
1.3.1. The Journey Robot	20
1.3.2. iRobot SUGV XM1216.....	20
2. Požadavkový list	21
3. Návrh variant řešení řídicího systému.....	23
3.1. Varianta A	23
3.1.1. Řídicí systém - Seeeduini Mega 1280.....	23
3.1.2. Řízení pohonů - Qik 2s12v10	24
3.1.3. GPS modul - LOCOSYS LS20031	25
3.1.4. Kompas – CMPS03.....	26
3.1.5. Ultrazvukový sonar – SRF08.....	27
3.1.6. Akcelerometr – ACC7260.....	27
3.1.7. Adaptér pro bezdrátovou komunikaci – XBee Shield.....	28
3.1.8. Modul bezdrátové komunikace – XBee PRO 868	28
3.1.9. Zapojení varianty A.....	29
3.2. Varianta B	31
3.2.1. Řídicí systém – FEZ Spider Mainboard.....	31
3.2.2. Řízení pohonů - Motor Driver IFR7862PBF Module	32
3.2.3. GPS modul - U-Blox Neo-6M GPS	32
3.2.4. Kompas – .NET Gadgeteer Compas module	33
3.2.5. Akcelerometr – .NET Gadgeteer Accelerometer module	33
3.2.6. Adaptér pro bezdrátovou komunikaci – XBee Adapter module	34

3.2.7.	Zapojení varianty B.....	34
4.	Výběr optimální varianty řídicího systému hodnotovou analýzou	36
4.1.	Hodnoty kritérií.....	36
4.2.	Významnost kritérií.....	36
4.3.	Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti	36
4.4.	Určení významnosti kritérií.....	36
4.5.	Hodnocení jednotlivých kritérií	37
4.6.	Výběr optimální varianty	38
4.7.	Výsledek hodnotové analýzy	38
5.	Zapojení řídicího systému a senzorického subsystému.....	39
6.	Umístění vybrané varianty na mobilní platformu	42
6.1.	Umístění ultrazvukových sonarů.....	42
6.2.	Umístění GPS modulu a akcelerometru	44
6.3.	Umístění řídicího systému a řízení motorů	45
6.4.	Umístění bezpečnostního vypínače a hlavních vypínačů.....	46
6.5.	Umístění kompasu.....	47
6.6.	Umístění kamer	48
7.	Programování reakčního chování robotu	49
7.1.	Komunikace Seeeduino s SRF08 a CMPS03.....	49
7.2.	Komunikace Seeeduino s GPS modulem.....	50
7.3.	Výpočet vzdálenosti a azimutu GPS souřadnic.....	51
7.3.1.	Haversinův vzorec.....	51
7.3.2.	Vincentův vzorec	52
7.3.3.	Výpočet vzdálenosti pro Seeeduino	52
7.3.4.	Výpočet azimutu pro Seeeduino	52
7.4.	Čtení hodnot z akcelerometru a následné určení rychlosti a náklonu	53
7.5.	Kompenzace odchylky kompasu při náklonu	54
7.6.	Směrování k zadaným souřadnicím	55
7.7.	Objíždění překážky	56
7.8.	Průběh posloupnosti programu	56
8.	Ekonomické zhodnocení nákladů na realizaci robotu.....	58
9.	Závěr	59
10.	Použitá literatura	61
11.	Seznam příloh	62
12.	Použité obrázky.....	64
13.	Použité tabulky.....	65
14.	Přílohy.....	66

14.1.	Fotky realizace průzkumného robotu	66
14.2.	Pravidla soutěže RoboOrientnering	68
14.2.1.	Úkol:.....	68
14.2.2.	Organizace:	68
14.2.3.	Start:	68
14.2.4.	Ukončení pokusu:.....	68
14.2.5.	Dosažení cíle a kontrolních bodů:	68
14.2.6.	Hodnocení:	69
14.2.7.	Parametry robotů:	69
14.2.8.	Homologace:	70
14.2.9.	Funkce rozhodčího:	70

Seznam použitých symbolů a značek

Označení	Význam označení	Jednotka
R	poloměr	[m]
lat	zeměpisná šířka	[°]
long	zeměpisná délka	[°]
V_{out}	výstupní napětí akcelerometru	[V]
ω	úhlová rychlost	[-]
V_r	rychlost pravého motoru	[-]
V_l	rychlost levého motoru	[-]
l	rozteč kol	[-]

0 Úvod

Průzkumná činnost v neznámém prostředí může být nebezpečná pro lidi. Z tohoto důvodu je ideální nasazení robotů, které mohou vykonávat činnost v neznámém prostředí místo lidí. Průzkum můžeme také vykonávat v prostředí nedosažitelném pro člověka, jako jsou stísněné prostory, ve kterých se člověk nedokáže pohybovat. Tyto činnosti můžou roboti vykonávat pod vzdáleným řízením nebo dohledem operátora nebo autonomně.

Pro vykonávání průzkumné činnosti musí být robot osazen systémy, které jsou schopny informovat robot nebo operátora o poloze, směru, překážce a okolí, v němž se pohybuje.

Robot má být navržen s ohledem na nasazení v soutěži typu RoboOrienting, která probíhá na území České Republiky a v podobných soutěžích. Tento typ soutěže spočívá ve schopnosti robotu autonomně vyhodnocovat překážky, vhodně je objíždět a dojet na dané místo v co nejkratším čase. Mezi nejznámější světové pořadatele tohoto typu soutěží patří DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).

Vzhledem k nasazení robotu v soutěžích musí být robot vybaven základním reakčním chováním. Toto chování obsahuje zastavení před překážkou, nalezení vhodného postupu vyhnutí se překážce a směřování na danou pozici.

Cílem diplomové práce je navrhnout řídicí systém a senzorický subsystém pro vykonávání průzkumné činnosti robota. Naprogramovat chování řídicího systému tak, aby byl schopen se autonomně pohybovat pomocí informací od operátora. Výběr komponentů je prováděn s ohledem na cenu, přesnost a kompatibilitu.

1. Analýza

1.1. Analýza robotických soutěží

Mezi nejznámější pořadatele robotických soutěží patří DARPA. Tato agentura spadá pod ministerstvo obrany United States of America. DARPA se zabývá nasazováním nových technologií pro použití v obraně. DARPA vyhlásila první soutěž tohoto typu v roce 2004 v Mohavské poušti. Soutěž spočívala v dosažení určeného cíle v co nejkratším čase. Soutěžní kolo bylo 150 mil (240 km) dlouhé a na cestě číhaly překážky v podobě písečných dun, příkrých stoupání, skal a dalších úskalí, které se v poušti mohou nacházet. Prvního ročníku DARPA Grand Challenge se účastnilo 15 týmů. Nejdál dojel tým Carnegie Mellon University, který urazil vzdálenost 11.9 km a poté uvízl na písečné duně. Druhý ročník soutěže DARPA Grand Challenge se pořádal v roce 2005, kde byla soutěžní trasa dlouhá 123 mil (212 km). Soutěže se účastnilo 23 týmů a trasu dokončilo 5 týmů. S nejlepším časem 6:54 se umístil tým ze Stanford University na prvním místě.



Obr. 1.1.1 - Stanley - první místo DARPA Grand Challenge 2005

RoboOrienteering je česká obdoba soutěže DARPA Grand Challenge, která probíhá v zámeckém parku v Rychnově nad Kněžnou. V roce 2013 se konal již 4. Ročník soutěže. Dle pravidel soutěže se musí robot v časovém limitu 30 min dostat do předepsaného cílového místa s možností průjezdů přes kontrolní body. Při dosažení bodů nebo cíle musí robot zastavit a nesmí poškozovat prostředí. Robot také musí zvládnout vyhýbání překážkám. Kompletní pravidla soutěže RoboOrienteering jsou uvedeny v příloze.

1.2. Analýza stávajících mobilních platforem

Pro návrh řídicího systému a senzorického subsystému je vhodné použít již navrhnoutou a vyráběnou mobilní platformu. Díky použití této možnosti zrychlíme realizaci průzkumného robotu. Průzkumné roboty se můžou pohybovat po zemi, ve vzduchu nebo

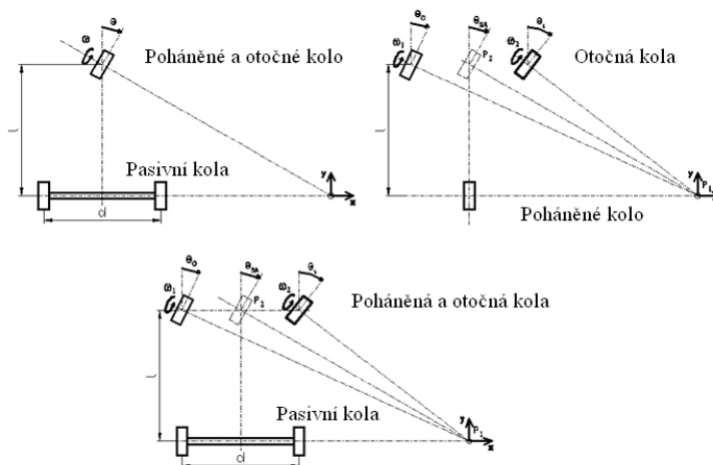
ve vodě. Námi zamýšlený průzkumný prostor je ve venkovním obydleném nebo neobydleném prostředí. Pro toto prostředí je vhodná kolová nebo pásová mobilní platforma. Možností je také létající platforma, u té je ale kratší pracovní doba a složitější nároky na řízení při autonomním pohybu.

Při zamýšleném využívání robotu pro pozemní průzkum jsou vhodné dva typy mobilních podvozků. Jsou to kolové a pásové mobilní podvozky. Tyto podvozky jsou použitelné jak ve vnitřním, tak venkovním prostředí. Z tohoto pohledu se hodí pro naše využití oba typy.

1.2.1. Kolové mobilní platformy

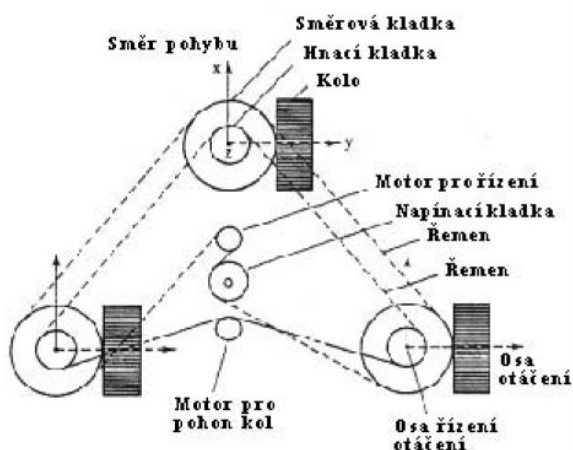
Kolové podvozky se podle způsobu řízení dělí na Ackermanovo, Synchronní a Diferenční řízení. Všechny tyto typy řízení podvozků se hodí pro naše použití.

Ackermanův systém řízení spočívá v natáčení předních kol a pohonu zadních kol. Pro pohyb je pak potřeba jednoho pohonného motoru, který musí mít dostatečné parametry pro zvládnutí požadovaného pohybu. Druhý motor zajišťuje naklápění předních kol. Pohon musí zvládnout otáčení kol na místě s plnou zátěží.



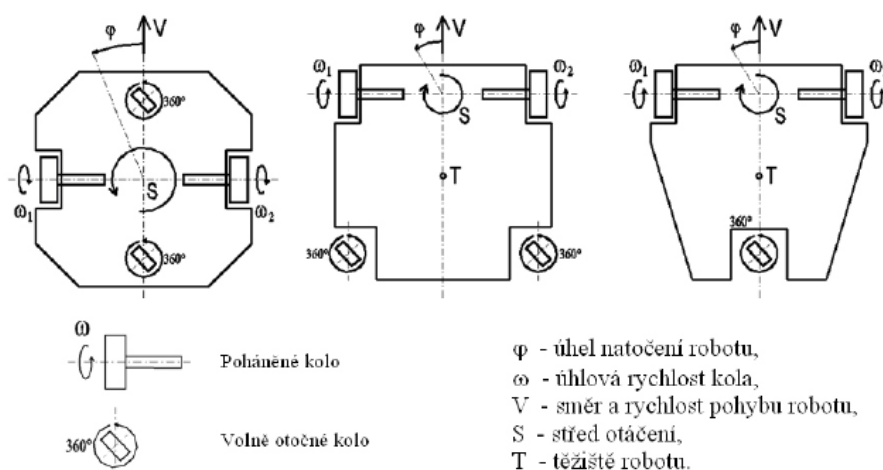
Obr. 1.2.1.1 - Ackermanův způsob řízení [1]

Synchronní systém řízení spočívá v natáčení všech kol stejným směrem. Většinou jsou všechny kola hnané. Díky otáčení všech kol současně je platforma schopna jezdit všemi směry bez nutnosti otáčení rámu platformy. Odpružení se u takovéto konstrukce realizuje složitěji s ohledem na nejrozšířenější použití řetězu jako hnaného elementu pro otáčení kol.



Obr. 1.2.1.2 - Synchronní způsob řízení [1]

Diferenční systém řízení spočívá v řízení rozdílných rychlostí na stranách robota. Mezi dvě nejrozšířenější umístění hnacích motorů pro pohyb patří připojení jednoho motoru ke každému kolu platformy, nebo umístění jednoho motoru na každou stranu a spřažení kol. Při spřažení kol se hůře realizuje odpružení platformy, protože musíme realizovat převod na kola, které kopírují nerovnosti okolí.



Obr. 1.2.1.3 - Diferenční způsob řízení [1]

1.2.1.1. Linxmotin A4WD1 v2



Obr. 1.2.1.1.1 - Mobilní platforma Linxmotin A4WD1 v2

Mobilní platforma od Linxmotin A4WD1 má hliníkový modifikovatelný a rozšiřitelný rám. Použity jsou terénní pneumatiky $\varnothing 120$ mm. Uvnitř rámu je dostatek místa na baterie, řídicí můstek motorů a řídicí systém. Případné rozšíření prostoru pro elektroniku je možné přidáním krytu na horní část rámu. Platforma používá 12V motory s převodovkou 30:1. Platforma nedisponuje odpružením konstrukce. Jediné odpružení, kterým platforma disponuje, jsou pneumatiky vyplněné pružnou pěnou.

Technické parametry Linxmotin A4WD1 v2	
Podvozek:	4 Kolový
Řízení:	diferenční řízení (smykem)
Pohon:	Motor pro každé kolo
Motory:	4 x 12V s převodovkou 35:1
Rozměry platformy:	305 x 343 x 120 mm
Rozměry rámu platformy:	200 x 230 x 80 mm
Světlá výška:	40 mm
Hmotnost podvozku:	2 kg
Nosnost robotu:	2,5 kg
Rychlost robotu:	4 km/h
Cena:	\$ 219

Tab. 1.1 – Parametry Linxmotin A4WD1 v2



Obr. 1.2.1.1.2 – Vnitřní prostor konstrukce platformy

1.2.1.2. Dagu Wild Thumper 4WD



Obr. 1.2.1.2.1 – Dagu Wild Thumper 4WD

Wild Thumper 4WD je 4 kolová diferenčně řízená mobilní platforma. Rám je vyroben z hliníkového děrovaného plechu. Konstrukce má vyřešené odpružení pomocí čepového uložení motorů s koly a zkrutných pružin, které zajišťují ideální styk kol s povrchem. Použity jsou terénní kola o \varnothing 120 mm. Součástí rámu je schránka určená pro uložení baterií určených pro RC modely. Platforma má uzpůsobenou základní desku pro uchycení pomocí šroubů o \varnothing 4 mm a roztečí děr 10 mm. Rozměry základní plochy pro umístění nástavby jsou 230 x 120 mm. Platforma používá motory s převodovkou 75:1. Maximální rychlost podvozku je 3 km/h.

Technické parametry Dagu Wild Thumper 4WD	
Podvozek:	4 Kolový
Řízení:	diferenční řízení (smykem)
Pohon:	Motor pro každé kolo
Motory:	4 x 7,5V s převodovkou 75:1
Rozměry platformy:	280 x 300 x 130 mm
Rozměry rámu platformy:	230 x 120 x 90 mm
Světlá výška:	60 mm
Hmotnost podvozku:	1,9 kg
Nosnost robotu:	2,5 kg
Rychlost robotu:	3 km/h
Cena:	\$ 214

Tab. 1.2 – Parametry Dagu Wild Thumper 4WD



Obr. 1.2.1.2.2 – Uložení motorů a kol ke konstrukci

1.2.1.3. Dagu Wild Thumper 6WD



Obr. 1.2.1.3.1 – Wild Thumper 6WD

Wild Thumper 6WD je šestikolová platforma, ze které vznikla její menší čtyřkolová verze. Šestikolová verze má na rozdíl od čtyřkolové verze umístěnou prostřední nápravu níže než krajní nápravy pro lepší vlastnosti při otáčení. Tento konstrukční návrh usnadňuje zejména otáčení na místě a neopotřebovává kola na krajních osách. Dále má dvě schránky pro baterie umístěné v rámu a větší základní desku, která má rozměr 380 x 120 mm. Platforma má také větší nosnost. Ostatní použité díly jsou stejné.

Technické parametry Dagu Wild Thumper 6WD	
Podvozek:	6 Kolový
Řízení:	diferenční řízení (smykem)
Pohon:	Motor pro každé kolo
Motory:	6 x 7,5V s převodovkou 75:1
Rozměry platformy:	420 x 300 x 130 mm
Rozměry rámu platformy:	380 x 120 x 90 mm
Světlá výška:	60 mm
Hmotnost podvozku:	2,7 kg
Nosnost robotu:	5 kg
Rychlost robotu:	3 km/h
Cena:	8397 Kč

Tab. 1.3 – Parametry Dagu Wild Thumper 6WD

1.2.1.4. Maverick Scout RC 4WD RTR Rock Crawler



Obr. 1.2.1.4.1 – Maverick Scout RC 4WD

Maverick Scout je dálkově ovládaný podvozek pro jízdu v extrémním terénu. Podvozek lze velice snadno využít jako mobilní platformu. Součástí podvozku jsou dva motory, které přenáší kroutící moment na obě nápravy, které jsou navrženy jako bezdiferenciálové tuhé nápravy. Ackermanovo řízení je realizováno zatáčením přední nápravy pomocí serva. Nápravy jsou od rámu podvozku odpruženy pomocí zkrutných tyčí a tlumičů.

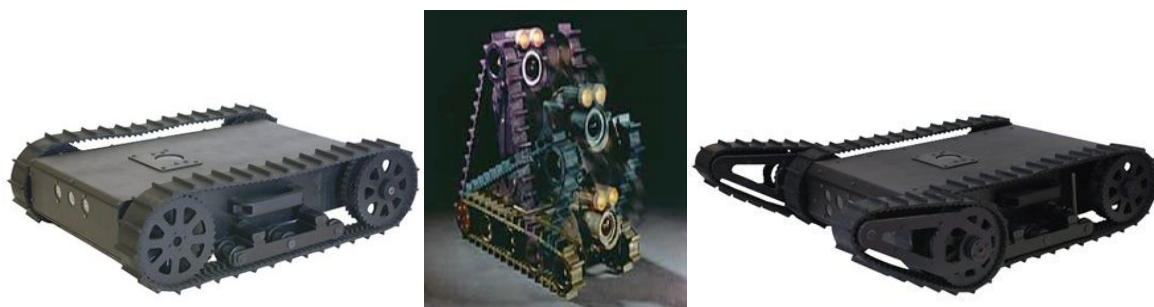
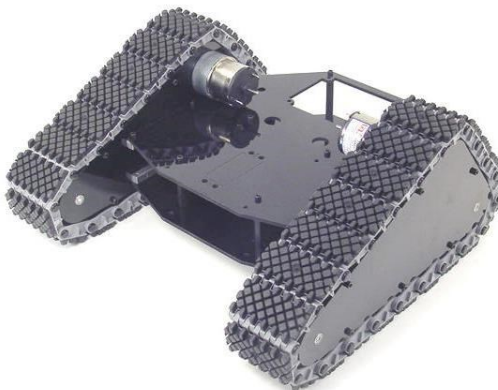
Technické parametry Maverick Scout RC 4WD	
Podvozek:	4 Kolový
Řízení:	Ackerman řízení
Pohon:	Dva motory pro přední a zadní nápravy, servo pro řízení přední nápravy
Motory:	2 x 7,2V s převodovkou 1:48
Rozměry platformy:	430 x 258 x 200 mm
Rozměry rámu platformy:	150 x 100 x 70 mm
Světlá výška:	50 mm
Hmotnost podvozku:	2,3 kg
Nosnost robotu:	2 kg
Rychlost robotu:	10 km/h
Cena:	3999 Kč

Tab. 1.4 – Parametry Maverick Scout RC 4WD



*Obr. 1.2.1.4.2 – Řízení pomocí serva***1.2.2. Pásové mobilní platformy**

U pásových mobilních robotů se nejčastěji používají tři druhy konstrukcí. S pevnou kinematikou pásů, s proměnnou kinematikou pásů a s bočními přídatnými pásy. Mobilní platformy s pevnou kinematikou pásu jsou méně konstrukčně náročné. Potřebují pouze dva pohony pro levou a pravou stranu platformy. Proměnná kinematika pásu a přídatné boční pásy dovoluje platformě optimálnější pohyb ve specifickém terénu a umožňuje lepší stabilitu. Tyto dva typy jsou složitější na konstrukci i řízení.

*Obr. 1.2.2.1- Základní typy pásových podvozků [1]***1.2.2.1. Lynxmotion Tri-Track***Obr. 1.2.2.1.1 – Lynxmotion Tri-Track*

Tato pásová platforma je navržena jako základ mobilního robotu pro vnitřní i vnější použití. Je zde ponecháno místo na řídicí elektroniku, senzory a případné otáčivé rameno robotu. Tri-Track používá článkový pás, který podle výrobce má dobré trakční vlastnosti na různorodém povrchu. Pohon zajišťují dva 12V motory s převodovkou, které umožňují zvládnout zátěž 2,3 kg.

Technické parametry Lynxmotion Tri-Track	
Podvozek:	Pásový
Řízení:	Diferenční řízení
Pohon:	Dva motory pro levou a pravou stranu
Motory:	2 x 12V s převodovkou 1:50
Rozměry platformy:	254 x 279 x 1247 mm
Rozměry rámu platformy:	184 x 200 x 76 mm
Světlá výška:	25,4 mm
Hmotnost podvozku:	1,36 kg
Nosnost robotu:	2,3 kg
Rychlost robotu:	2,5 km/h
Cena:	\$ 235

Tab. 1.2.2.1.1 - Parametry Lynxmotion Tri-Track

1.2.3. Výběr mobilní platformy pro průzkumný robot

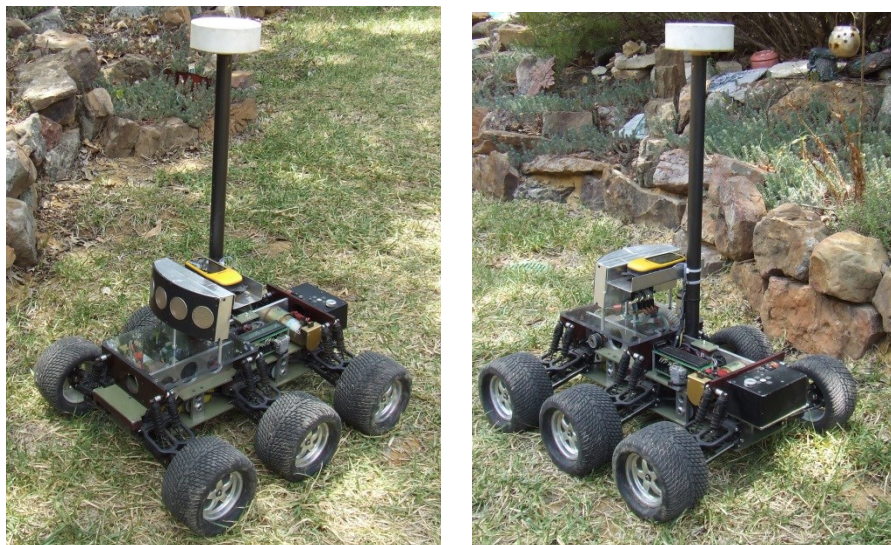
Po prozkoumání trhu s dostupnými lokomočními subsystémy, s ohledem na cenu do 10 000 Kč, byly nalezeny nejvhodnější dostupné podvozky, které jsou vhodné pro průzkumnou činnost. Po porovnání parametrů užitečných vlastností, kde byl brán zřetel na nosnost podvozku, průchodnost terénem a rozměry pro umístění řídicího systému, senzorů, kamer a baterií, byla vybrána platforma Dagu Wild Thumper 6WD. Cena Dagu Wild Thumper 6WD je větší než u ostatních nalezených platforem, ale jeho rozměry pro elektroniku a nosnost překonaly ostatní platformy.

1.3. Navržené autonomní roboty

Většina navržených a používaných průzkumných robotů je dálkově řízena. Operátor přijímá video z robotu a na základě takto získaných informací řídí robot. Tento způsob řízení je nejčastěji využíván u pyrotechnických a zásahových složek policie a armády. V těchto případech není potřeba osazovat robot senzorickým subsystémem pro detekci překážek.

Nalezené autonomní roboty jsou využívány pro průzkum a dohled na rozsáhlém prostoru. Robot musí být vybaven senzorickým subsystémem, který zabezpečí informování řídicího systému o poloze a směřování robotu, překážce před robotem, rychlosti a případném nebezpečném naklonění robotu.

1.3.1. The Journey Robot



Obr. 1.3.1.1 – The Journey Robot

Journey je robot schopný autonomně dojet na požadované místo a po cestě se vyhýbat překážkám. Robot je osazen GPS navigací, tříosým akcelerometrem, tříosým kompasem, ultrazvukovými senzory, rotačními enkodéry, řídicím systémem a bezdrátovou komunikací.

1.3.2. iRobot SUGV XM1216




Obr. 1.3.2.1 - iRobot SUGV XM1216

iRobot je známým výrobcem všestranných malých robotů. SUGV (Small Unmanned Ground Vehicle) je jedním ze zástupců robotů určeným ozbrojeným složkám pro průzkum a případný zásah, který by byl pro člověka nebezpečný. SUGV ve verzi XM1216 je upravený pro autonomní průzkum a přenos informací operátorovi. Operátor může případně převzít řízení robotu a provést detailní průzkum nebo zásah. Robot váží 13 kg, je schopen

uvézt náklad o váze 3 kg a zvládá bezproblémové lezení do schodů. Výrobce neudává, jaké senzory jsou použity pro autonomní řízení.

2. Požadavkový list

Požadavkový list	
Obecné požadavky	
Druh činnosti	Průzkumná činnost
Pracovní prostředí	Vnitřní, vnější s možností deště, teploty -20 až 50 C°
Parametry podvozku Dagu Wild Thumper 6WD	
	
Typ Podvozku	6 kolový smykem řízený
Rozměr podvozku	420 x 300 x 130 mm
Světla výška podvozku	60 mm
Maximální doporučené zatížení	5 Kg
Počet hnaných kol	6 kol
Druh pohonu podvozku	Elektromotory s převodovkou 75:1
Napájecí napětí	Stejnoseměrné 2 – 7,5 V
Stálé napětí motorů při 7,2 V	6,6 A na motor
Napětí motoru bez zátěže při 7,2 V	420 mA na motor
Otáčky kola bez zátěže při 7,2 V	160 Ot/s
Točivý moment při 7,2 V	1 Nm

Požadavky na senzory	
Měření veličin	<ul style="list-style-type: none"> • Vzdálenost od překážky ve směru jízdy • Směr jízdy • Poloha podvozku • Zrychlení podvozku • Rychlost jízdy podvozku • Náklon podvozku • Měření stavu baterii
Možné doplňkové měření	<ul style="list-style-type: none"> • Teploty okolí • Koncentrace plynu v okolí • Měření intenzity světla
Požadavky na řídicí systém	
Datová komunikace	Bezdrátová datová komunikace
Periferie systému	TTL, I2C, Digital In, Digital Out, Analog In, Analog Out, PWM
Silové řízení motorů	Dvoukanálové, 7,5 V, 15 A (19,8 A špičky)
Řízení pohybu	Autonomní vyhýbání překážkám, dosažení cíle s možností urči průjezdné body.
Požadavky na video	
Počet kamer	1 ks
Vlastnosti kamery	Video výstup pro bezdrátový přenos, možnost záznamu na SD kartu
Požadavky na umístění na podvozek	
<ul style="list-style-type: none"> • Odolnost vůči pohybu ve venkovním prostředí (prach, vlhkost, možnost deště) • Snaha o co nejmenší celkovou výšku podvozku • Snaha o co nejmenší celkovou váhu robotu 	

Tab. 2.2.1 – Požadavkový list

3. Návrh variant řešení řídicího systému

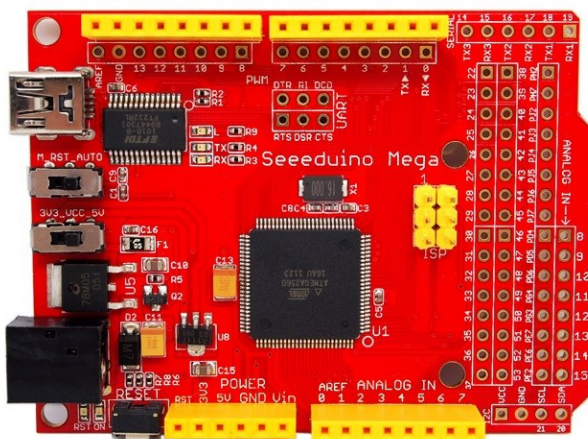
Na základě parametrů, vyplývajících z požadavkového, listu jsou navrženy dvě varianty řešení řídicího systému. Tyto varianty jsou navrženy tak, aby jednotlivé komponenty spolu dokázaly spolupracovat. Při výběru varianty je důležitá i cena. Obě varianty jsou navrženy pro napájení ze dvou baterií 7,2 V určených pro RC modely. Elektronika musí být schopna detekovat GPS polohu, směřování robotu, rychlost pohybu, vzdálenost od překážek a informovat operátora o stavu okolí, případně přijímat příkazy operátora.

3.1. Varianta A

Varianta A je založena na Open Source platformě Arduino. Tato platforma je v současnosti velice oblíbená pro své variace od různých výrobců ale se zachovanou kompatibilitu. Mnoho Open Source projektů využívá Arduino jako hlavní řídicí systém, mezi které patří projekt 3D tiskáren RepRap, projekt laserových řezaček Lasersaur a projekt zaměřený na měření spotřeby energie OpenEnergyMonitor. Součástí této varianty je také motorový regulátor Qik 2s12v10, GPS modul LS20031, kompas CMPS03, ultrazvukové sonary SRF08, akcelerometr ACC7260 a XBee Shield pro Arduino s Xbee PRO 868 bezdrátovým modulem pro bezdrátovou komunikaci s robotem.

3.1.1. Řídicí systém - Seeeduino Mega 1280

Seeeduino Mega 1280 je odvozena od Arduina Mega 1280, které používá čip ATmega1280. Rozdíl je v rozmístění rozšiřujících pinů a použitých komponentech. U Seeeduina bylo při výrobě snahou dosáhnout menších rozměrů. Toho docílili použitím SMD komponentů. Díky tomu je Seeeduino Mega 1280 menší než Arduino Mega 1280 o 30%.



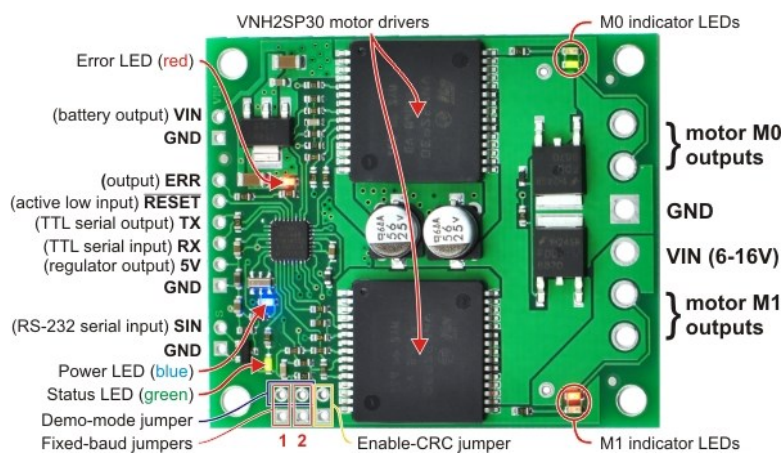
Obr. 3.1.1.1 – Seeeduino Mega 1280

Technické parametry Seeeduino Mega 1280	
Napájení doporučené:	7 – 12 V
Napájení minimální / maximální:	6 – 20 V
Mikrokontrolér:	ATmega1280
Pracovní napájení:	5V / 3,3V
Digitální I/O pin:	70x (z toho 14x s možností PWM)
Analog Input pin:	16 x
DC proud na jeden Digitální I/O pin:	40 mA
DC proud na 3,3V pin:	500 mA
Flash Memory:	128 KB z toho používá 4KB bootloader
SRAM:	8 KB
EEPROM:	4 KB
Clock Speed:	16 MHz
Uart Port:	3x
I2C Port:	1x
Rozměry:	71 x 53 x 11,3 mm
Napájecí konektor:	2,54 mm JST 2 pin
Datový konektor:	USB mini
Cena:	\$ 65

Tab. 3.1 – Parametry Seeeduino Mega 1280

3.1.2. Řízení pohonů - Qik 2s12v10

Tento výkonný motorový regulátor umožňuje variabilní řízení rychlosti a směru dvou velkých, kartáčových stejnosměrných motorů pomocí jednoduchého sériového rozhraní a nabízí několik pokročilých funkcí, jako je kontrola zrychlení motorů a nastavitelné omezení proudu. Automatická detekce přenosové rychlosti 1200 bps až 115,2 kbps a vstupy jak pro RS-232 a TTL seriál usnadňuje připojení motorů do mikrokontroléru nebo počítačového projektu. Provozní rozsah napětí je 6 až 16V, trvalý proud na kanál je až 13 A (30 A špička)



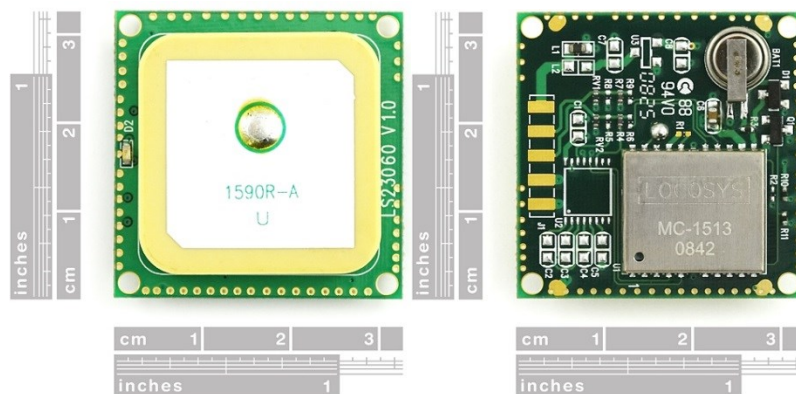
Obr. 3.1.2.1 - Qik 2s12v10

Technické parametry Qik 2s12v10	
Motorové kanály:	2
Napájení:	6 – 16 V
Trvalý proud na kanál:	13 A
Špička proudu na kanál:	30 A
Auto-detekce rychlosti:	1200 – 115,200 bps
Dostupné pevné rychlosti:	115,200 bps, 38,400 bps, 9600 bps
Dostupné PWM frekvence:	19.7 kHz, 9.8 kHz, 2.5 kHz, 1.2 kHz, 310 Hz, 150 Hz
Ochrana před zpětným napětím:	Ano
Motor driver:	VNH2SP30
Cena:	\$ 75

Tab. 3.2 – Parametry Qik 2s12v10

3.1.3. GPS modul - LOCOSYS LS20031

LS20031 je GPS přijímací modul od Locosys, který přímá GPS data na 66 kanálech a výstup dat má ve více jak 6 různých NMEA (National Marine Electronics Association) GPS protokolech přes TTL seriálový port na frekvenci od 1Hz do 10 Hz. Od doby kdy má GPS modul integrovanou keramickou anténu, nepotřebujete externí anténu. Modul obvykle zaměří polohu při studeném startu do 35 sekund ve volném prostoru a při poslední uložené informaci ze satelitů, který naposledy, přijal může být určena poloha do 2 sekund.



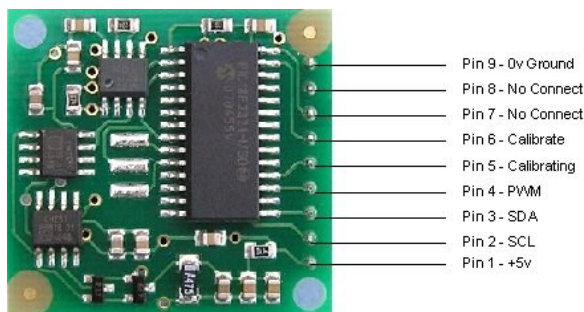
Obr. 3.1.3.1 – Locosys LS20031 GPS

Technické parametry LOCOSYS LS20031	
Chip:	MediaTek MT3329
Frequency:	L1 1575,42 MHz, C/A code
Kanály:	Podporuje 66 kanálu (22 sledovacích)
Rychlost zjišťování polohy:	1 Hz až 10 Hz
Hot start:	< 2 s (obvykle)
Cold start:	35 s (obvykle)
Přesnost určení polohy:	3 m
Podporované protokoly:	9600 bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bits 1Hz: GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG
Maximální rychlost a výška:	< 515m/s, < 18 000 m
Cena:	\$ 50

Tab. 3.3 – Parametry LOCOSYS LS20031

3.1.4. Kompas – CMPS03

Elektronický kompas CMPS03 je modul osazený dvojicí senzorů magnetického pole Philips KMZ51 schopen měřit azimut s rozlišením $0,1^\circ$ a přesností 3-4°. Kompas disponuje rozhraním I²C a PWM výstupem (TTL). Sběrnice I2C slouží nejen k čtení hodnot ale také ke kalibraci, která je důležitá (uspořádání magnetických siločar na různých místech Země je různé). U PWM výstupu odpovídá délka výstupního pulsu azimutu.



Obr. 3.1.4.1 - CMPS03

Technické parametry CMPS03	
Napájecí napětí:	5 V
Rozhraní:	I ² C nebo PWM (pulzy)
Jednotky:	Stupně
Rozlišení:	$0,1^\circ$
Odchylka:	3° až 4°
Cena:	\$ 40

Tab. 3.4 – Parametry CMPS03

3.1.5. Ultrazvukový sonar – SRF08

Sonary jsou senzory určené k měření vzdálenosti k překážce. Ultrazvukové sonary jsou založeny na měření doby mezi vysláním akustického impulsu a okamžikem přijetí odraženého signálu od překážky – echa. Součástí SRF08 je i světelné čidlo, které se dá využít pro zjištění zakrytí generátoru a přijímače zvuku.



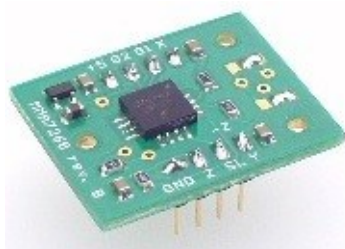
Obr. 3.1.5.1 – SRF08

Technické parametry SRF08	
Napájecí napětí:	5 V
Rozhraní:	I ² C
Jednotky:	palce, centimetry, mikro-sekundy
Měřicí rozsah:	6 cm až 6 m, 55° měřicí úhel
Rozlišení:	1
Odchylka:	2 cm
Cena:	\$ 55

Tab. 3.5 – Parametry SRF08

3.1.6. Akcelerometr – ACC7260

Akcelerometr měří působící zrychlení, které může být původu gravitačního, nebo může být způsobené nerovnoměrným pohybem. Z poměru gravitačního zrychlení ve dvou osách lze zjistit náklon, integrací všech tří os lze získat vektor okamžité rychlosti a další integrací polohu. Použitý senzor MMA7260 je připájený na malém modulu spolu s filtračními RC články a stabilizátorem napětí. Umožňuje použít tuto SMD součástku bez nutnosti osazovat integrované obvody v pouzdru QFN s vývody na spodní straně. K mechanickému upevnění modulu slouží tři otvory o průměru 2.2mm.



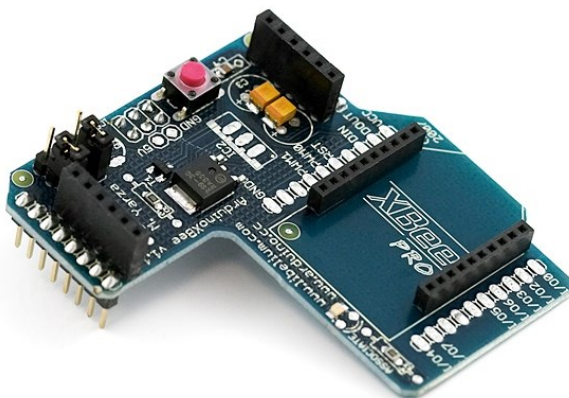
Obr. 3.1.6.1 - ACC7260

Technické parametry ACC7260	
Napájecí napětí:	3.6V ... 5V, 600uA
Rozhraní:	0 až 5V
Jednotky:	-
Měřicí rozsah:	$\pm 1,5$ g ... ± 6 g
Citlivost:	800 mV/g ... 200 mV/g
Rozměry modulu:	23 x 28 mm
Cena:	\$ 29

Tab. 3.6 – Parametry ACC7260

3.1.7. Adaptér pro bezdrátovou komunikaci – XBee Shield

Toto je unikátní štít pro Arduino platformu. Tato deska připojuje XBee modul přímo na sériovou komunikaci místo USB kabelu tak, že můžeme komunikovat s Arduinem přímo přes upravený ZigBee protokol. Deska může být osazena širokou škálou bezdrátových modulů XBee.



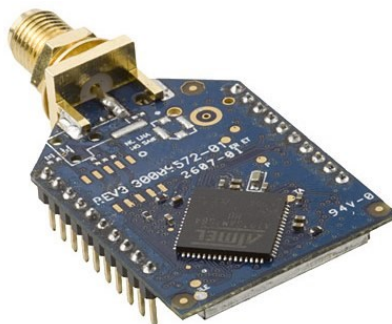
Obr. 3.1.7.1- Arduino Xbee Shield

Technické parametry Arduino XBee Shield	
Napájecí napětí:	3.3V
Rozměry:	62 x 62 mm
Cena:	\$ 23

Tab. 3.7 – Parametry Arduino XBee Shield

3.1.8. Modul bezdrátové komunikace – XBee PRO 868

XBee-PRO 868 jsou jedno kanálové rádiové moduly s dlouhým dosahem poskytující přenos dat. Modul je určen pro provoz v Evropě. Podporuje rádiový přenos ve venkovním prostředí na přímou viditelnou vzdálenost až 40 km. V městském prostředí přes stěny je to 500 m. Tyto moduly jsou ideální pro překonání přenosu na velkou vzdálenost.



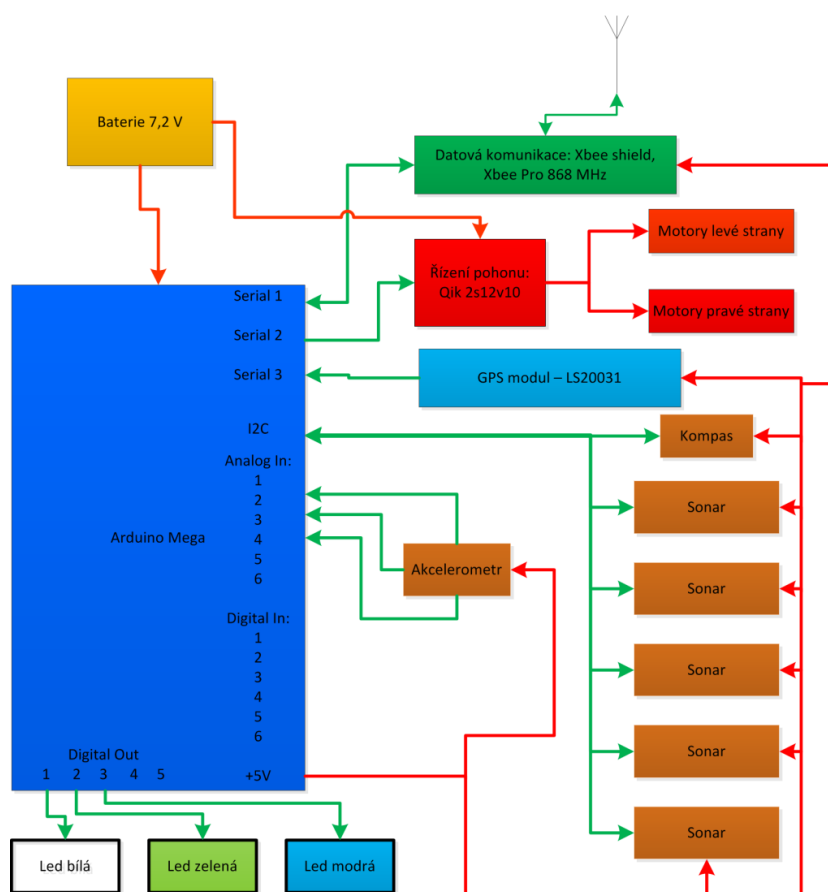
Obr. 3.1.8.1 – XBee PRO 868

Technické parametry XBee PRO 868	
Napájecí napětí:	3.3V
Rozhraní:	20 x pin
Pracovní frekvence:	868 MHz, (pásmo G3 pro Evropu)
Komunikační dosah:	40km na přímo viditelnost, 500 m v budovách
Možnosti komunikační typologie:	peer-to-peer nebo point-to-multipoint
Konektor antény:	RSMA
Cena:	\$ 75

Tab. 3.8 – Parametry XBee PRO 868

3.1.9. Zapojení varianty A

Varianta počítá s využitím rozsahu napájení Seeeduina, které je připojeno přímo na baterie, na které je připojen i řídící můstek motorů. Pro bezdrátovou komunikaci je využit sériový port 1. Přes port1 probíhá komunikace s PC, pokud je připojen USB konektor. Sériový port 2 je využit pro komunikaci s řídícím můstkem. Můstek může indikovat svoji chybu. GPS modul využívá sériový port 3, přes který přijímá data o poloze. I2C sběrnice je využita pro komunikaci se pěti ultrazvukovými sonary SRF08 a kompasem CMPS03. Zjišťování informace o rychlosti a náklonu je realizováno pomocí 3 analogových vstupů. Pro indikaci stavu robotu jsou navrženy tři LED diody, které jsou připojeny ke třem digitálním výstupům.



Obr. 3.1.9.1 - Schéma zapojení varianty A

3.1.10. Cenová kalkulace varianty A

Ekonomické zhodnocení varianty A			
Komponent	Cena za kus	Počet kusu	Cena
Arduino Mega	\$65	1 ks	\$65
Qik 2s12v10	\$75	1 ks	\$75
66-Channel LS20031 GPS Module	\$50	1 ks	\$50
Kompas – CMPS03	\$40	1 ks	\$40
SRF08	\$55	5 ks	\$ 275
ACC7260	\$29	1 ks	\$ 29
Arduino XBee Shield	\$23	1 ks	\$ 23
XBee Pro 868 MHz	\$75	2 ks	\$ 140
Cena celkem			\$ 697

Tab. 3.9 – Ekonomické zhodnocení varianty A

3.1.11. Zhodnocení varianty A

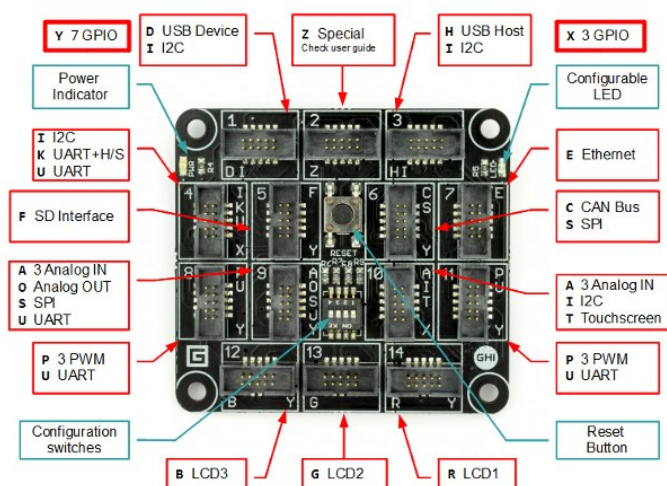
Díky použití oblíbené Open Source platformy řídicího systému jsou k dispozici knihovny pro komunikaci s navrženými senzory, bezdrátovou komunikací a řízením motorů. Řídicí deska stále disponuje dostatečným množstvím vstupů a výstupů pro případné rozšíření senzorického subsystému.

3.2. Varianta B

Varianta B je založena na .NET Gadgeteer od Microsoftu. Základem tohoto systému je Mainboard, který je osazen 14 konektory. Každý konektor má určenou kombinaci vstupů a výstupů. Ve variantě jsou použity moduly kompasu, akcelerometru, GPS, XBee do firmy GHI Electronics a dva komponenty, které jsou navrženy ve variantě A, a to ultrazvukové sonary SRF08 a XBee PRO 868. Proto jsou parametry vynechány.

3.2.1. Řídicí systém – FEZ Spider Mainboard

Řídicí jednotkou v této variantě je FEZ Spider Mainboard od společnosti GHI Electronics. Tento mikrokontroler pracuje s operačním systémem .NET Micro Framework od společnosti Microsoft. Řídicí deska disponuje možností připojení dotykového displeje, USB hostu, Ethernetu a SD karty.



Obr. 3.2.1.1 – FEZ Spider Mainboard

Technické parametry FEZ Spider Mainboard	
Napájení:	5 V
Procesor:	32-bit ARM7
Digitální I/O pin:	76x (z toho 6x s možností PWM)
Analog Input pin:	7x 10-bit
Flash Memory:	4.5 MB
RAM:	16 MB RAM
EEPROM:	4 KB
Clock Speed:	72 MHz
Uart Port:	4x
I2C Port:	1x
Rozměry:	57,1 x 52 x 12,7 mm
Cena:	\$ 120

Tab. 3.10 - Parametry FEZ Spider Mainboard

3.2.2. Řízení pohonů - Motor Driver IRF7862PBF Module

Tento řídící modul pohonů je určen pro řízení dvou stejnosměrných pohonů do 20V 10A. Modul je napájen z řídícího mikrokontroléru, ale motory jsou napájené z baterií pro pohony.



Obr. 3.2.2.1 – Motor Driver IRF7862PBF

Technické parametry Motor Driver IRF7862PBF	
Motorové kanály:	2
Napájení:	6 – 20 V
Trvalý proud na kanál:	10 A
Špička proudu na kanál:	25 A
Maximální PWM frekvence:	20 KHz
Ochrana před zpětným napětím:	Ano
Motor driver:	IRF7862PCB
Cena:	\$ 80

Tab. 3.11 – Parametry Motor Driver IRF7862PBF

3.2.3. GPS modul - U-Blox Neo-6M GPS

Tento modul obsahuje U-Blox Neo-6M GPS modul a jednoduše připojitelnou externí anténu přes U.FI konektor. Procesor komunikuje přes sériový port.



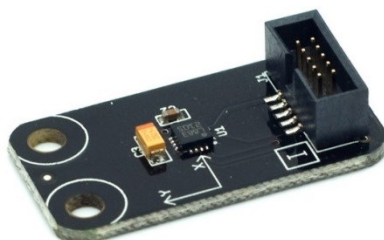
Obr. 3.2.3.1 - U-Blox Neo-6M GPS

Technické parametry U-Blox Neo-6M GPS	
Chip:	Neo – 6M
Rychlost zjišťování polohy:	1 Hz až 5 Hz
Hot start:	< 2 s (obvykle)
Cold start:	5 min (obvykle)
Přesnost určení polohy:	3 m
Podporované protokoly:	4,8 do 115,2 kbps, 8 data bits, no parity, 1 stop bits NMEA a U-Blox
Cena:	\$ 50

Tab. 3.12 – Parametry U-Blox Neo-6M GPS

3.2.4. Kompas – .NET Gadgeteer Compas module

Tento tříosý modul kompasu je navržen pro měření magnetického pole země s přesností 1° až 2°. Využívá I²C sběrnici.



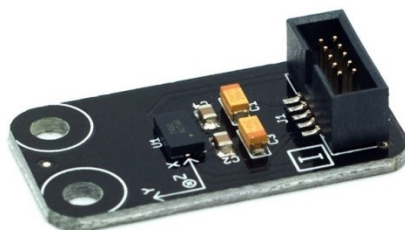
Obr. 3.2.4.1 - Gadgeteer Compas module

Technické parametry Gadgeteer Compas module	
Napájecí napětí:	5 V
Rozhraní:	I ² C
Jednotky:	Stupně
Rychlost obnovy směru:	116 Hz
Odchylka:	1° až 4°
Cena:	\$ 16

Tab. 3.13 – Parametry Gadgeteer Compas module

3.2.5. Akcelerometr – .NET Gadgeteer Accelerometer module

Tento modul měří zrychlení, statické síly a vibrace ve třech osách. Výrobce neudává měřicí rozsah ani přesnost modulu.



Obr. 3.2.5.1 - .NET Gadgeteer Accelerometr

Technické parametry Gadgeteer Accelerometer module	
Napájecí napětí:	5V
Odolnost vůči rázu:	10,000 g
Rozměry modulu:	17 x 32 mm
Cena:	\$ 29

Tab. 3.14 – Parametry Gadgeteer Accelerometer module

3.2.6. Adaptér pro bezdrátovou komunikaci – XBee Adapter module

XBee modul umožňuje připojit bezdrátové moduly XBee od firmy Digi International, která vyrábí široké spektrum těchto bezdrátových modulů. XBee můžou pracovat v pásmu Wifi 2,4 GHz, 5,8 GHz nebo v pásmu 868 MHz, 900 MHz.



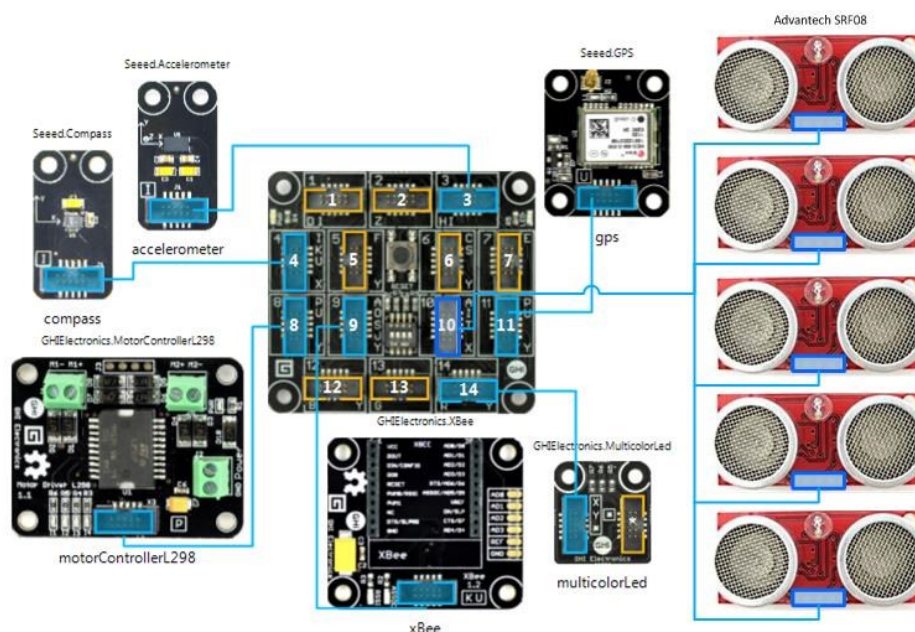
Obr. 3.2.6.1 - XBee Adapter module

Technické parametry XBee Adapter module	
Napájecí napětí:	3.3V
Rozměry:	42 x 37 mm
Cena:	\$ 15

Tab. 3.15 – Parametry XBee Adapter module

3.2.7. Zapojení varianty B

Na řídicí desku FEZ Spider jsou připojeny rozšiřující senzorické moduly. Každý modul má definovaný připojovací konektor. Návrh zapojení je realizován v programu Visual Studio 2010 s instalovanou nástavbou .NET Gadgeteer, kde lze FEZ Spider přímo programovat. Při programování jsou dostupné knihovny k použitým komponentům. Na port číslo 3 je připojen akcelerometr, k portu číslo 4 je připojen kompas. Řídicí můstek motoru je připojen na port číslo 8 a bezdrátová komunikace na port číslo 9. Ultrazvukové sonary SRF08 jsou k FEZ Spider připojeny přes I²C sběrnici, která je umístěna na konektoru 10. GPS modul je připojen k portu číslo 11 a indikační LED diody jsou připojeny pomocí portu číslo 14.



Obr. 3.2.7.1 - Schéma zapojení varianty B

3.2.8. Cenová kalkulace varianty B

Ekonomické zhodnocení varianty B			
Komponent	Cena za kus	Počet kusu	Cena
FEZ Spider Mainboard	\$120	1 ks	\$120
Motor Driver IRF7862PBF Module	\$80	1 ks	\$80
GPS Module	\$50	1 ks	\$50
Compass Module	\$16	1 ks	\$16
SRF08	\$55	5 ks	\$275
Accelerometer Module	\$13	1 ks	\$13
XBee Adapter Module	\$15	1 ks	\$15
XBee Pro 868 MHz	\$75	2 ks	\$140
Cena celkem			\$709

Tab. 3.16 – Ekonomické zhodnocení varianty B

3.2.9. Zhodnocení varianty B

FEZ Spider běží na operačním systému .NET Framework, který je určený pro řízení pomalejších dějů a není vhodný na realtime aplikace. Realtime aplikace se u tohoto systému dají aplikovat, ale musí se naprogramovat a vložit do úrovně před operační systém. Kombinací realizací potřebných reálných příkazů zařazených před operační systém a použitím operačního systému může vzniknout jednoduché uživatelské prostředí.

4. Výběr optimální varianty řídicího systému hodnotovou analýzou

Pomocí hodnotové analýzy vybereme z navržených variant vhodnější řešení řídicího systému. Hodnotovou analýzou srovnáme zvolené kritéria u navržených variant.

4.1. Hodnoty kritérií

Úroveň	Hodnota
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 4.1 – Hodnoty kritérií

4.2. Významnost kritérií

Významnost	Hodnota
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 4.2 - Významnosti kritérií

4.3. Zvolení požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti

Kritéria byly voleny na základě požadavkového listu na řídicí systém.

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Cena	Cena komponentu řídicího systému
K2	Dostupnost	Možnosti ke koupi v České Republice
K3	Periferie řídicí jednotky	Množství možných připojitelných periférií
K4	Energetická náročnost	Rozsah napájení
K5	Rychlost odezvy systému	Rychlost systému reagovat na stávající situaci

Tab. 4.3 Kritéria výběru

4.4. Určení významnosti kritérií

Pro váhu významnosti q byla zvolena lineární závislost.

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75$$

Metodou porovnávání párů určíme váhy významnosti jednotlivých kritérií. Použitím těchto vah významnosti a počtů bodů, přiřazeným jednotlivým kritériím variant, můžeme spočítat konečný počet bodů jednotlivých variant, a tím zjistit, která je výhodnější.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí	Váha významnosti (q)
K1	K1	K1	K1	3	2	1,5
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	2	3	1,25
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0,5	4 – 5	0,875
		K4	K5			
			K4	0,5	4 - 5	0,875
			K5	4	1	1,75

Tab. 4.4 – Váha významnosti

4.5. Hodnocení jednotlivých kritérií

K1 - Cena		
Varianta	Celková cena navržené varianty	Počet bodu
A	\$ 697	5
B	\$ 709	4

Tab. 4.5 – Hodnocení kritéria 1

K2 – Dostupnost		
Varianta	Možnosti ke koupi v České republice	Počet bodu
A	Ano do 14 dnů	4
B	Ano do 14 dnů	4

Tab. 4.6– Hodnocení kritéria 2

K3 – Periferie zařízení		
Varianta	Množství možných připojitelných periférií	Počet bodu
A	56x D I/O, 14x PWM, 16x AI, I2C, 3x UART	5
B	70x D I/O, 6x PWM, 7x AI, I2C, 4x UART	4

Tab. 4.7– Hodnocení kritéria 3

K4 – Energetická náročnost		
Varianta	Spotřeba a rozsah napájení	Počet bodu
A	6 – 20 V	5
B	5 V	3

Tab. 4.8– Hodnocení kritéria 4

K5 – Rychlost odezvy systému		
Varianta	Rychlost systému reagovat na stávající situaci	Počet bodu
A	Používá programovací jazyk založený na Wiring	4
B	Používá operační systém .NET Framework	3

Tab. 4.9– Hodnocení kritéria 5

4.6. Výběr optimální varianty

Určení vážených indexů variant					
Kritérium	Váha významnosti kritéria (q)	Varianta A		Varianta B	
		Počet bodů	Vážený index	Počet bodů	Vážený index
K1	1,5	5	7,5	4	6
K2	1,25	4	5	4	5
K3	0,875	5	4,375	4	3,5
K4	0,875	5	4,375	3	2,625
K5	1,75	4	7	3	5,25
Celkový součet vážených indexů varianty A:		28,25		22,375	

Tab. 4.10 - Určení vážených indexů variant

4.7. Výsledek hodnotové analýzy

Varianta	Celkový součet vážených indexů	Pořadí
A	28,25	1.
B	22,375	2.

Tab. 4.11 – Výsledek hodnotové analýzy

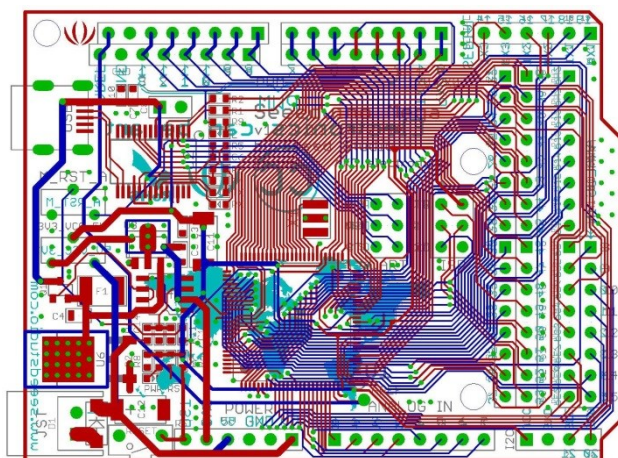
Z hodnotové analýzy vzešla jako výhodnější varianta A řešení řídicího systému a senzorického subsystému. Výběr nejvíce ovlivnilo kritérium rychlosti řídicí jednotky a cena.

5. Zapojení řídicího systému a senzorického subsystému

Při výběru bylo navrženo schématické řešení zapojení řídicí elektroniky a senzorů. Při realizaci bylo schéma rozšířeno o nouzový vypínač, hlavní vypínače, externí anténu pro XBee modul, externí datové připojení a přepínač způsobu datové komunikace. Dalším rozšířením je použití dvou kamer, které si mezi sebou dělí úlohu přenosu videa s malou kvalitou obrazu pro dohled operátorem a záznam širokoúhlého HD obrazu pro případnou dodatečnou analýzu obrazu. Schéma zapojení řídicího systému je součástí přílohy.

Jako hlavní zdroje pro robot jsou navrženy dvě baterie NiMH 7,2V s kapacitou 3600 mAh. Baterie by měly zvládnout minimálně hodinu a půl provozu robotu. Mají rozměr 135 x 45 x 25 mm a přesně pasují do kontejnerů, které jsou součástí rámu. Baterie přes hlavní vypínač napájí Seeeduino a řídicí můstek Qik 2s12v10 pro pohon motorů.

S využitím Open Source platformy Seeeduino je k dispozici podobné schéma zapojení na PCB desce a také schéma zapojení obvykle používaných elektronických součástek. K používaným elektronickým komponentům existují doporučené zapojení. Pro rychlou možnost programování robotu je navržena redukce konektoru USB mini na USB konektor, který je vhodný pro zabudování do krytu průzkumného robota.



Obr. 4.7.1 – Zapojení a zpracování Seeeduina Mega 1280

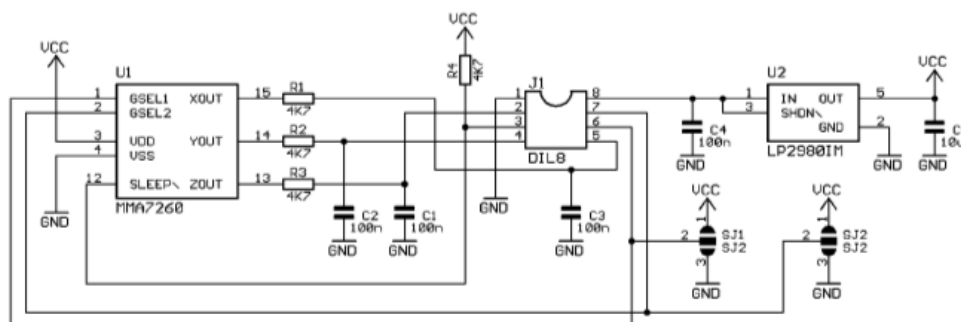
Můstek Pololu Qik 2s12v10 disponuje komunikací přes sériovou linku RS 232 nebo přes TTL seriál. Modul disponuje nastavitelnou adresou pro komunikaci při použití více řídicích můstků. Dále modul disponuje nastavitelnou frekvencí PWM řízení, zastavení motoru při komunikační chybě, vypnutí při dlouhé prodlevě komunikace, nastavením zrychlení a zpomalení motorů a nastavitelným limitem proudu pro motory. Qik 2s12v10 disponuje také zpětnou vazbou, přes kterou může informovat řídicí systém o typu chyby. Na desce jsou osazeny diody pro indikaci stavu zapnutí, hlášení chyby, stavu komunikace a pro každý motor indikace spínání a směru motoru. Pro nastavení rychlosti komunikace

slouží dva přepínače, pomocí kterých může nastavit rychlosti 115 200, 38 400 a 9 600 bps nebo autodetekci, která se projevuje pomalejším startem komunikace. Sériová komunikace s Seeeeduinem probíhá na digitálních PWM portech D10 až D13 a je připojena k zemi Seeeeduina. Pro ověření funkce můstku bez datové komunikace je možno využít zkušební režim pomocí spojením přepínačů na desce můstku.

Dalším využívaným spojením je sběrnice I²C, ke které je připojeno 5 ultrazvukových sonarů a kompas. Před zapojením všech sonarů a kompasu na sběrnici bylo nutno určit jednotlivé adresy. Toto určování specifických adres musí probíhat při zapojení pouze jednoho senzoru. V případě použití dvou by dvě zařízení disponovaly stejnou adresou. Kompas disponuje i PWM výstupem, který je vhodné použít pro kontrolu a případné zahlcení sběrnice I²C. Kompas je připojen k digitálnímu portu D7, který disponuje PWM vstupem. Tímto dvounásobným připojením můžeme rychleji vyhodnocovat azimut robotu a zároveň měřit vzdálenost překážek v okolí.

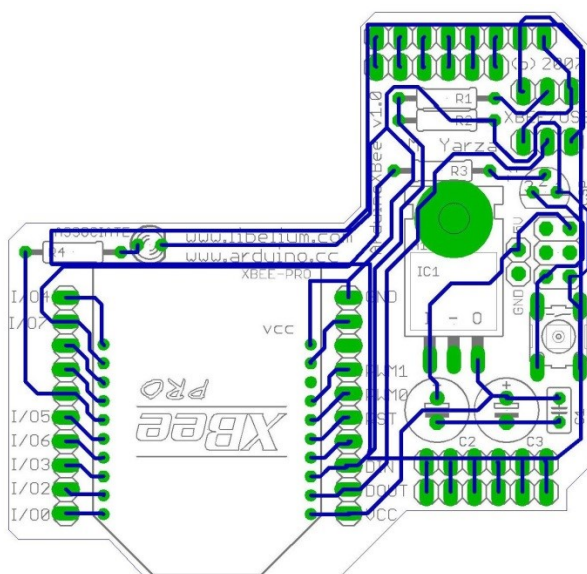
Pro určení polohy je vybrán GPS modul, který má podle výrobce odchylku určení polohy 2,5 m při použití integrované antény. Modul je napájen pomocí 3,3V ze Seeeeduina, které disponuje vestavěným regulátorem napětí. S GPS modulem je možno komunikovat pomocí sériové komunikace, ale na úrovni 3,3V, pro zpětnou komunikaci s modulem by musel být zapojen převodník signálu z 5V na 3,3V. Díky továrnímu nastavení ale není potřeba GPS modul nijak nastavovat a můžeme připojit TX modulu do RX Seeeeduina, a to i přes 5V logiku čte signály 3,3V a není tak potřeba převodník z 3,3V na 5V.

Pro měření polohy je navržen tříosý akcelerometr ACC7260, který je přiveden na analogové vstupy Seeeeduina. Pro osu X je to A5, pro osu Y je to A4 a pro osu Z je to A3. Akcelerometr je vybaven přepínačem pro změnu rozsahu, který můžeme nastavit na $\pm 1,5g$, $\pm 2,0g$, $\pm 4,0g$ a $\pm 6,0g$ a zapnutím režimu s malou spotřebou. Základní rozsah je nastaven na $\pm 1,5g$. Přepínače rozsahu jsou připojeny na digitální výstup D23 a D24, zapínání režimu s malou spotřebou je přes D22. Při prostudování schématu zapojení akcelerometru je zjištěna nutnost zapojení převodníku na 3,3V.



Pro indikaci stavu robotu jsou navrženy 3 barevné kontrolky, které jsou připojeny na digitální výstup D51, D52, D53 a D50, která programově slouží jako zem.

Pro bezdrátovou komunikaci je na Seeeduino umístěn XBee Shield, který přizpůsobuje komunikaci pomocí XBee modulů. Pro připojení napájení je využit ISP port. Přes modul prochází připojovací konektory k analogovým vstupům A0 až A5 a digitální vstupy a výstupy D2 až D7. Pro realizaci datové komunikace se používá sériový port 0 připojený přes RX0 a TX0, který je využit i při komunikaci přes USB kabel. Z tohoto důvodu musel být modul vybaven přídatným externím přepínačem na krytu, pomocí kterého se volí směr přenosu dat z XBee modulu a jeho odpojení od sériové linky pro změnu softwaru robotu.



Obr. 4.7.3 – Schéma zapojení XBee Shield

Modul XBee je nasazen na uzpůsobenou patici v XBee Shieldu. Pro připojení externí antény je využit RSMA konektor. Pro větší možnosti umístění antény je navržen prodlužovací koaxiální kabel s koncovkou RSMA na jedné straně a na druhé straně uzpůsobenou RSMA koncovkou do panelu.

Navržená kamera má svoji baterii, která se zapíná přes navržený vypínač. Provoz kamery by se dal řídit s pomocí polovodičového relé přes digitální výstup. S ohledem na možné nečekané vypnutí nebo restartování řídicího systému je lepší nechat kameru nezávislou na řídicím systému.

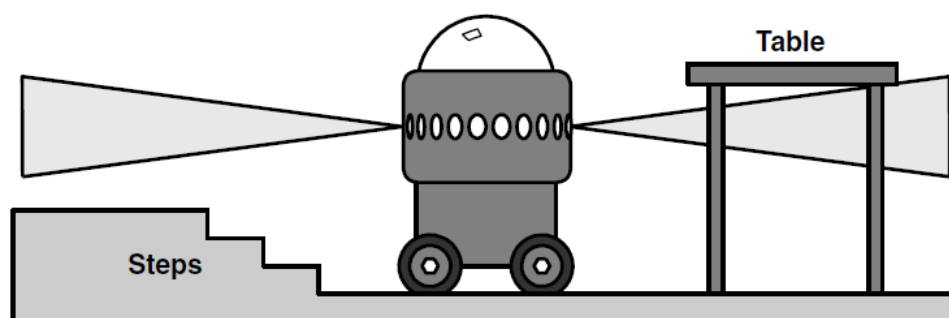
6. Umístění vybrané varianty na mobilní platformu

Pro správnou funkci reakčního chování průzkumného robotu je důležitá správná funkce senzorů. Pro správnou funkci senzorů je důležité jejich umístění. Průzkumný robot musí být schopen detekovat překážky v jízdě, svojí polohu, směřování, rychlost a náklon. Detekce předmětů před a za robotem je realizována pomocí ultrazvukových sonarů. Poloha robotu je zjišťována na základě dat z GPS modulu. Směr jízdy robotu se zjišťuje za pomoci kompasu. Pro informace o rychlosti a náklonu robotu je součástí elektroniky navržen tříosý akcelerometr. Určení polohy pro každý navržený senzor je odlišný a má své specifické problémy, které je nutno řešit.

Kryt elektroniky je řešen spolu s umístěním elektroniky. Kryt je navržen pro výrobu pomocí 3D tisku a vyřezáním z plexiskla. Modely pro 3D tisk byly navrženy tak, aby při jejich výrobě nebylo zapotřebí použít podpěrného materiálu. Při konstruování byla snaha spotřebovat co nejméně materiálu při 3D tisku se zachováním pevnosti a tuhosti dílu. Konstrukční návrh byl realizován v CREO 2.

6.1. Umístění ultrazvukových sonarů

Ultrazvukové sonary musí být navrženy, tak aby detekovaly překážku před robotem v dostatečné vzdálenosti, aby se ji robot mohl vyhnout. Při navrhování mobilních autonomních robotů se používá několik typů rozmístění pro detekci překážek. U těchto návrhů závisí na typu navrženého robotu a úhlu měřicího paprsku sonaru. Pro správnou detekci překážky musí být správně navržen i vertikální rozsah měřicího kuželu. Tento rozsah by měl být schopen detekovat i vertikálně překážku v dostatečné vzdálenosti, která by mohla poškodit robot při průjezdu. Jak je zobrazeno Obr. 6.1.1.

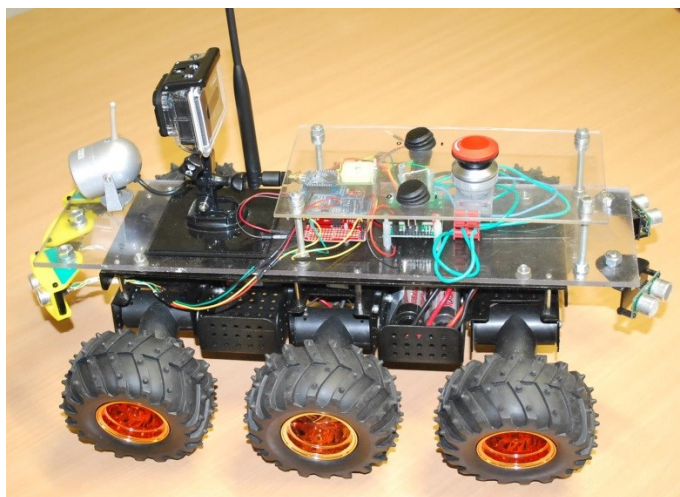


Obr. 6.1.1 – Zobrazení nedostačujícího umístění měřicího prostoru

Po prostudování možných překážek v prostředí je pro sonar nejhůře detekovatelná tyč a koule, jelikož se zvuk odráží směrem od přijímače sonaru. Tyč, která v prostředí může znamenat sloup pevně ukotvený v zemi, je pro jízdu robotu nebezpečná, protože při

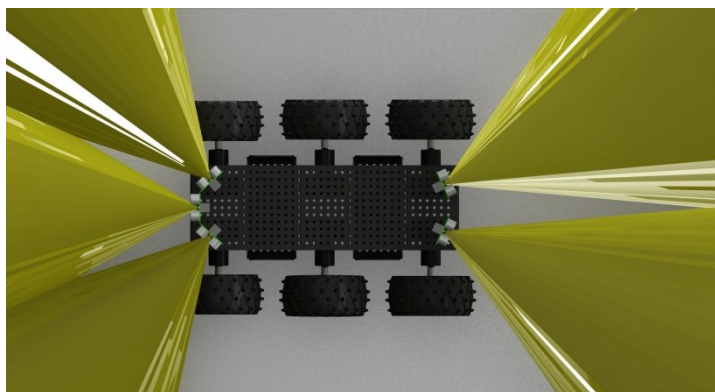
selhání detekce se o ní robot může zaseknout. To neplatí o kouli, kterou robot může odsunout nebo jí jízdou překonat.

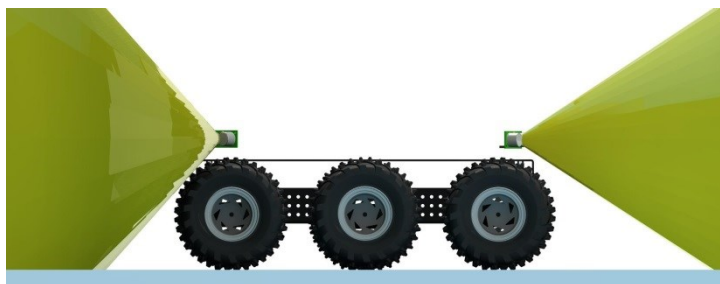
Pro vhodné umístění bylo zapotřebí ověřit deklarovaný úhel prostoru kuželu měřitelného sonarem pro určení vzdálenosti předmětu. Toto ověření bylo prováděno zkušebním měřením s použitím tří překážek ve tvaru válce o průměrech 8, 35, 65 mm a výšce 100 mm. Při měření byly shodně detekovány překážky $\varnothing 35$ a 65. Maximální detekovaný úhel od osy sonaru je 31° pro překážky o $\varnothing 35$ a 65mm pro překážku o $\varnothing 8$ mm byl naměřen 28° .



Obr. 6.1.2 - Pracovní verze osazení

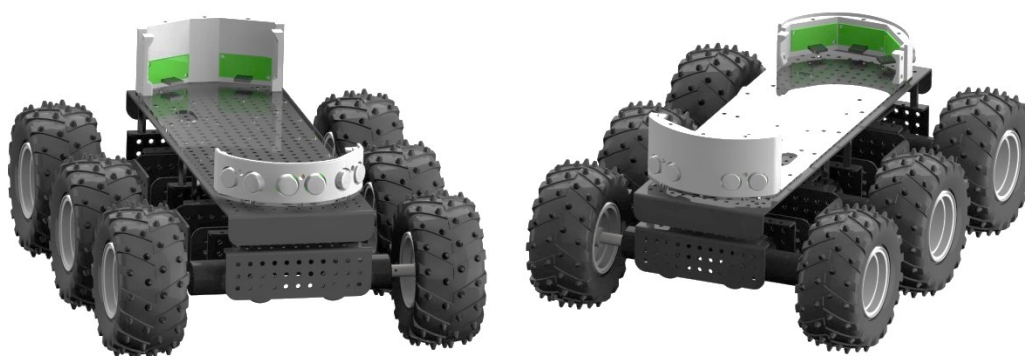
Pro detekci překážek před robotem byly navrženy 3 sonary, které mezi sebou mají úhel 48° . Tento úhel byl zvolen na základě měření a pro zajištění překrytí měřicího prostoru sonarů. Pro detekci překážek, při případném otáčení nebo couvání robotu, jsou navrženy dva sonary v zadní části. Úhel mezi zadními sonary je 50° . U zadních sonarů není nutná spolehlivá detekce na krátkou vzdálenost, protože robot se většinou bude pohybovat dopředu. Zadní sonary ale musí být schopny detekovat překážku ve větším úhlu s využitím pouze dvou jednotek, aby se robot mohl bezpečně otáčet i na místě. Jako možnost rozšíření pro detekci jízdy kolem stěny je ponecháno místo pro IR odrazové čidla po bocích robotu.





Obr. 6.1.3 - Schéma rozmístění ultrazvukových sonarů

Na základě umístění bylo navrženo uchycení ultrazvukových sonarů. Přední nosný držák je navržen na umístění tří SRF08. Součástí ultrazvukových sonarů je i světelné čidlo, se kterým se také při konstrukci držáku počítalo. Zadní nosný držák je navržen pro dva sonary a případné doplnění o IR čidlo překážky, které by mohlo pokrýt případný mrtvý úhel sonaru. V tomto prostoru není potřeba detekovat vzdálenost překážky, protože sonary mají mrtvý úhel pouze uprostřed do vzdálenosti 200 mm. Pak jsou schopny zjistit překážku díky navrženému překrytí měřitelného prostoru.



Obr. 6.1.4 – Uchycení Ultrazvukových sonarů na podvozku

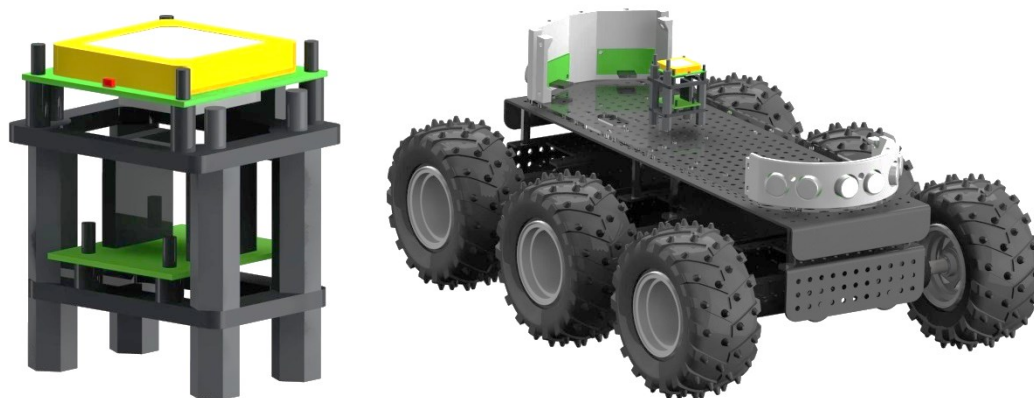
6.2. Umístění GPS modulu a akcelerometru

GPS modul musí být umístěn na místě, kde by anténa modulu měla co nejlepší příjem ze satelitu. Pro odpovídající informaci o poloze je výhodné umístit GPS modul co nejbližší středu robotu.

Umístění akcelerometru je ovlivněno pouze snahou zjistit co nejpřesnější informaci o rychlosti a případném náklonu robotu. Ideálním místem pro zjišťování náklonu je co nejbližší středu robotu, aby nebyla hodnota náklonu ovlivněna.

GPS modul a akcelerometr mají upevňovací díry o $\varnothing 2$ mm. Pro tyto díry nejsou k dispozici distanční sloupky vhodné pro uchycení. Řešení vzniklo použitím navrženého adaptéru pro GPS modul a akcelerometr. Při konstruování se podařilo adaptéry navrhnout tak, že GPS modul byl umístěn nad akcelerometr, čímž se zajistilo vhodné umístění ve středu robotu a úsporou místa na upevňovací ploše robotu. Držák pro GPS a akcelerometr

byl posunut do zadní části v souvislosti se zvoleným umístěním kompasu, který by mohl snížit příjem antény GPS.

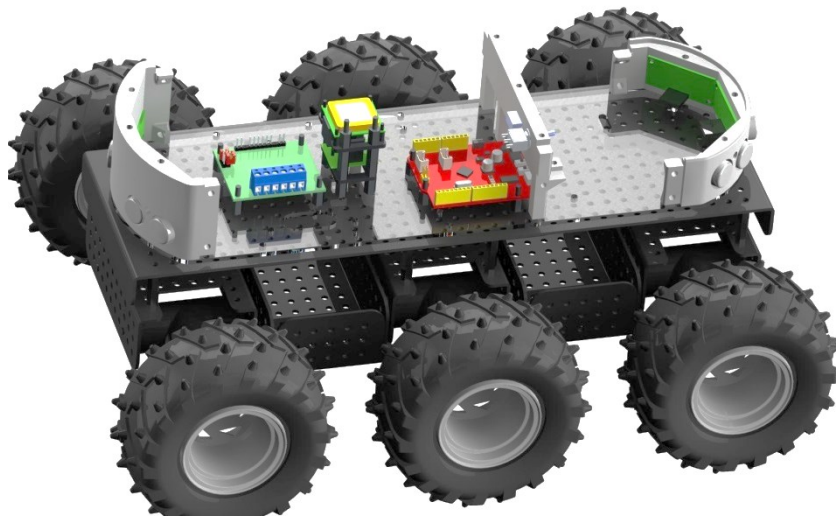


Obr. 6.2.1 – Umístění GPS modulu a akcelerometru

6.3. Umístění řídicího systému a řízení motorů

Seeeduino Mega bylo umístěno do středu robotu, s ohledem na vhodné zapojení. Při umísťování Seeeduina se muselo počítat s XBee Shieldem a XBee modulem. Tato elektronika se připojuje na Seeeduino a zvyšuje tak potřebné místo. Navržený XBee modul má RSMA konektor pro připojení externí antény. Anténa není z praktického hlediska upevněna přímo na XBee, kde by hrozilo poškození modulu při zachycení antény o překážku, ale je uchycena do rámu elektroniky a spojena krátkou propojkou. Pro programování Seeeduina je z praktických důvodů navržen USB konektor v krytu, abychom při změně programu nemuseli celý robot rozdělovat. S ohledem na využívání prvního sériového portu Seeeduina XBee modulu byla potřeba umístit přepínač pro zvolení druhu komunikace s operátorem.

Umístění řídicího můstku Qik 2s12v10 bylo zvoleno v blízkosti umístění baterii. Toto řešení je výhodné s ohledem na délku přívodních kabelů k motorům, které tak zabírají méně místa.

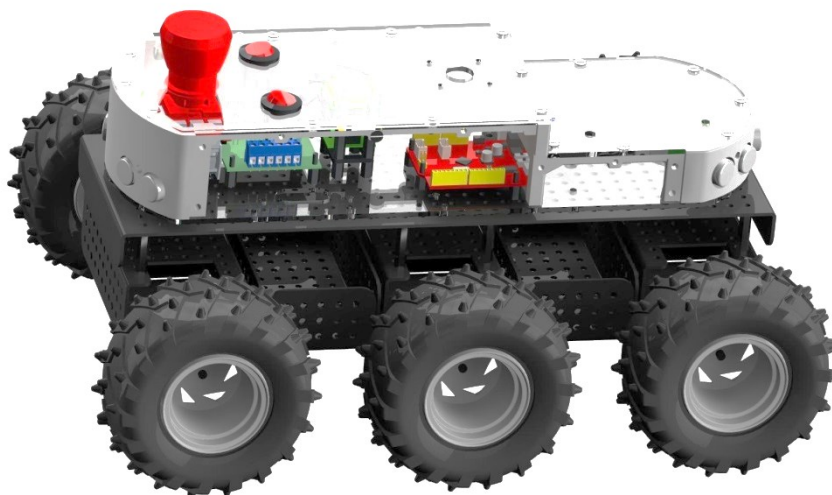


Obr. 6.3.1 – Umístění Arduina a Qik 2s12v10

6.4. Umístění bezpečnostního vypínače a hlavních vypínačů

Z bezpečnostního hlediska je na robotu umístěno nouzové vypínací tlačítko. Umístění nouzového tlačítka vyžaduje bezproblémový přístup a dobrou viditelnost. Proto je tlačítko umístěno v dostatečné vzdálenosti od ostatních komponentů, které vyčnívají a hrozilo by jejich poškození při snaze nouzově vypnout robot.

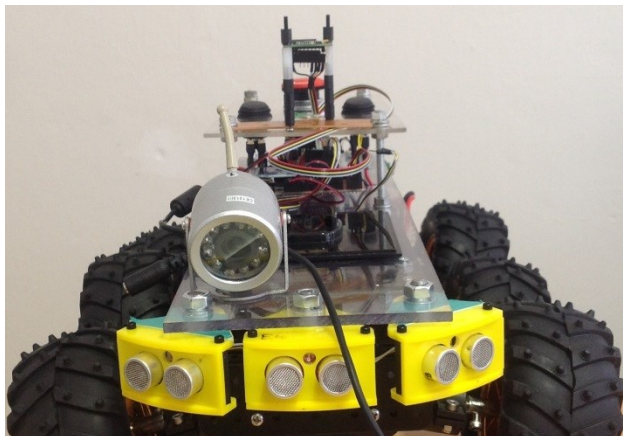
Součástí robotu jsou také dva hlavní vypínače pro řízení robotu a pro přenos video signálu s kamerou. Tyto dva vypínače jsou navrženy ve volném prostoru blízko bezpečnostního vypínače a řídicího můstku motorů s ohledem na navržené zapojení napájení.



Obr. 6.4.1 - Umístění hlavních vypínačů a bezpečnostního vypínače

6.5. Umístění kompasu

Umístění kompasu ovlivňuje elektromagnetické pole motorů podvozku. Běžně se kompas na robotech umísťuje na sloup daleko od magnetického pole robotu. Při navrhování průzkumného robotu je snahou navrhnout robot kompaktních rozměrů.



Obr. 6.5.1 - Experimentální měření vzdálenosti kompasu

Zjištění minimální použitelné vzdálenosti kompasu od motorů bylo zjištěno postupným porovnáním hodnot změřených kompasem a hodnot na střelkovém kompasu umístěném mimo magnetické pole motoru. Měření probíhalo na zkušebním osazení mobilního podvozku. Postupné měření začínalo ve vzdálenosti 100 mm od motorů a probíhalo v krocích po 10 mm. Zjištěna minimální vzdálenost kompasu od motorů je 180 mm.



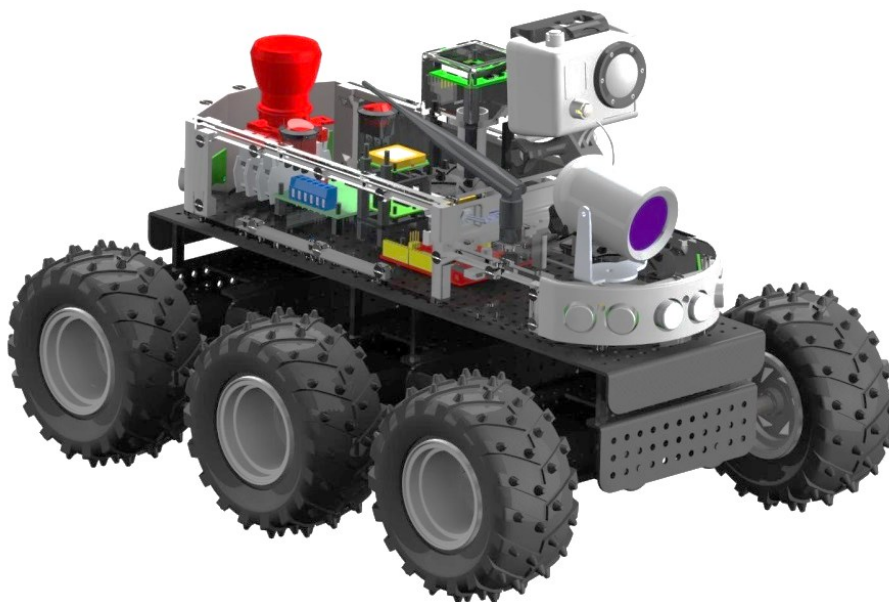
Obr. 6.5.2 – Návrh finální umístění kompasu

Z důvodu umístění kompasu mimo hlavní kryt elektroniky byl navržen kryt samostatný. Kryt kompasu se skládá z horní a dolní části. Do dolní části je připevněn kompas pomocí distančních sloupků, které ponechávají dostatek místa na přípojný konektor. Horní kryt pouze kryje kompas. Z důvodu zjištěného ovlivňování kompasu kovovými předměty musí být upevnění v blízkosti kompasu plastové.

6.6. Umístění kamer

Umístění kamery musí být navrženo s ohledem na jejich snímací vlastnosti a rozměry. Mezi hlavní parametry, určující umístění kamer, je jejich úhel snímání okolí, které chceme přenášet a zaznamenávat. Pro přenos obrazu k operátorovi pro kontrolu robotu a případně převzetí řízení je potřeba snímat obraz před robotem s co nejmenším zpožděním. Pro případnou podrobnou analýzu prostředí je vhodné snímat prostředí ve větším zorném úhlu s lepší kvalitou obrazu.

Na průzkumný robot je navrženo použití dvou kamer. Jedna je bezdrátová bezpečnostní kamera, která plní funkci přenosu obrazu bez zpoždění k operátorovi. Tato kamera kvůli své rychlosti nedisponuje kvalitním rozlišením snímacího čipu. Je osazena IR přísvitem pro případ pohybu v prostorech se slabými světelnými podmínkami. Druhá kamera je GoPro Hero3, která zvládá širokoúhlý záznam v HD kvalitě i bezdrátový přenos přes Wifi, ale se zpožděním a na menší vzdálenost. Kamera se přes Wifi dá pohodlně nastavovat a zapínat nahrávání. Nastavení dovoluje i zapnout režim postupného focení po 1, 5, 10, 30 a 60 sekundách. Záznam je realizován na vnitřní mikro-SD kartu. GoPro má velké množství přípevňovacího příslušenství, se kterým lze kameru jednoduše připevnit na navržený kryt průzkumného robotu. Obě kamery jsou navrženy do venkovního prostředí, a tak k nim není potřeba navrhovat přídavné vodotěsné kryty.



Obr. 6.6.1 - Umístění kamer na průzkumném robotu

7. Programování reakčního chování robotu

Programování Seeeduina je prováděno v programu Arduino 1.0, které je odvozeno od Open Source programovacího prostředí Processing. Programování pro Arduino a desek, od něj odvozených, je založeno na programovacím jazyku Wiring.

Před programováním reakčního chování bylo nutné nejdříve naprogramovat komunikaci a čtení jednotlivých senzorů a řídicího můstku. Při výběru komponentů byly nalezeny u některých komponentů knihovny výrobců, které realizovaly základní komunikaci s Arduinem. Tyto knihovny musely být upraveny pro požadovanou aplikaci.

7.1. Komunikace Seeeduino s SRF08 a CMPS03

Pro komunikaci Seeeduina s ultrazvukovými sonary SRF08 a kompasem CMPS03 je využita sběrnice I²C, přes kterou je posílán požadavek pomocí adresy a registru s naměřenou hodnotou. Pro řízení komunikace pomocí I²C sběrnice slouží integrovaná knihovna Wire.h obsažená v programovacím prostředí. Pro ultrazvukové sonary SRF08 jsou přiřazeny adresy dle Tab. 7.1. Při programování adres jsem používal knihovnu SRF08.imo, kde se zadala požadovaná adresa SRF08. Při programování adres musí být připojeno pouze jedno zařízení k sběrnici I²C.

Umístění SRF08	I2C adresa HEX
Přední pravý	E4
Přední prostřední	E6
Přední levý	E8
Zadní levý	EA
Zadní pravý	EC

Tab. 7.1 – I²C adresy SRF08

Adresa kompasu zůstala nezměněna C0, protože je mimo rozmezí používané SRF08. Jiná zařízení využívající I²C sběrnici se stejnou adresou nejsou připojeny.

Pro čtení hodnot z více sonarů a kompasu slouží programový kód `srf08_cmeps03.ino`. Na jeho začátku jsou určeny používané knihovny, definované parametry, mezi které patří adresy sonarů a zvolená adresa registrů hodnot. Pro čtení hodnot SRF08 slouží následující část kódu.

```

int                                     getRange1() // funkce pro zaslani mereni SRF08
{
    int range1 = 0;
    Wire.beginTransmission (srfAddress1);           // start komunikace s adresou SRF08
    Wire.write ((byte)cmdByte);                     // prikaz startu mereni
    Wire.write (0x51);                               // prikaz mereni v cm
    Wire.endTransmission ();                         // ukoncení zpravy

    delay (time);                                    // cas prodlevy pro mereni

    Wire.beginTransmission (srfAddress1);           // start komunikace s adresou SRF08
    Wire.write (rangeByte);                          // volani registru s namerenou vzdalenosti
    Wire.endTransmission ();

    Wire.requestFrom (srfAddress1,                  2); // prijem 2 bytes od SRF08
    while (Wire.available () < 2); // cekani na prijem
    byte highByte = Wire.read ();                    // Get high byte
    byte lowByte = Wire.read ();                     // Get low byte

    range1 = (highByte << 8) + lowByte;              // spojeni dohromady

    return (range1);                                // ukoncení meren
}

```

Pro čtení hodnot z kompasu je díky dostupné knihovně možné použít pouze označení kompasu a příkaz pro čtení hodnoty.

```

CMPS03 cmps03;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
}

void loop()
{
    Serial.println(cmps03.read());
    delay(1000);
}

```

7.2. Komunikace Seeeduino s GPS modulem

Komunikace v našem případě probíhá pouze přijímáním dat z GPS modulu přes sériovou linku. GPS modul posílá v případě určení polohy data v protokolu NMEA 0183, který posílá data po řádcích označovaných jako věty. Označení a význam vět je uveden v Tab. 7.2

NMEA věta	Zkratka věty a popis
\$GPGGA	Global positoning systém fixed data Informace o zeměpisné šířce a délce, geodetické výšce a o času určení souřadnic
\$GPGLL	Geographic position – latitude/longitude Informace o zeměpisné šířce a délce
\$GPGSA	GNSS DOP and Active Satellites Informace o identifikačních číslech aktivních satelitů
\$GPGSV	GNSS satellites in view Informace o počtu viditelných satelitů a síle jejich signálu
\$GPRMC	Recommended minimum specific GNSS data Doporučená minimální informace o datech z Globálního Navigačního Satelitního Systému
\$GPVTG	Course over ground and ground speed

Tab. 7.2 – Věty protokolu NMEA 0183 využívané GPS modulem

Příklad vět při jednom přijetí protokolu NMEA 0183. Více o protokolu NMEA 0183 v [12]

```
$GPGGA,190500.800,4923.4058,N,01757.8873,E,1,5,1.28,451.3,M,42.6,M,,*51
$GPGLL,4923.4058,N,01757.8873,E,190500.800,A,A*59
$GPGSA,M,3,31,29,21,05,16,,,,,,,,,1.58,1.28,0.92*0A
$GPGSV,4,1,13,29,70,060,20,21,45,195,26,31,42,242,28,25,35,134,*70
$GPGSV,4,2,13,05,23,065,23,16,15,306,21,12,04,129,,02,03,043,*75
$GPGSV,4,3,13,13,03,348,,23,02,324,35,10,02,019,,06,02,266,*7F
$GPGSV,4,4,13,35,,,*7D
$GPRMC,190500.800,A,4923.4058,N,01757.8873,E,0.35,146.55,170513,,,A*6A
$GPVTG,146.55,T,,M,0.35,N,0.65,K,A*3B
```

Z vět dokážeme vyčíst zeměpisnou šířku a délku, geodetickou výšku, aktuální čas a další informace, které můžeme využít. Pro zpracování dat protokolu NMEA je v prostředí Arduina k dispozici vytvořená knihovna, pomocí které jsou z vět odděleny informace a vloženy do proměnných, se kterými můžeme jednodušeji pracovat pro určení polohy a dalších výpočtech.

7.3. Výpočet vzdálenosti a azimutu GPS souřadnic

Pro výpočet vzdálenosti dvou bodů na základě GPS souřadnic se používají dva druhy výpočtů založené na Haversinovu vzorci a na Vincentovu vzorci. Rozdíl v těchto dvou druhích výpočtu je v přesnosti a složitosti výpočtu.

7.3.1. Haversinův vzorec

Haversinův vzorec počítá vzdálenost dvou bodů na kulových plochách. Tento výpočet zjednodušuje zeměkouli na kouli, i když není kulatá. Poloměr zeměkoule se pohybuje od 6356,78 km na pólech po 6378,14 km na rovníku, ale více důležité je, že poloměr zakřivení na pólech je o 1% větší než na rovníku. Kvůli tomu při použití Cosinova pravidla nemůže být odchylka přesnější než 0,5%. Tímto zjednodušením získáme ale jednodušší a rychlejší výpočet vzdálenosti. [7]

Výpočet vzdálenosti podle Haversinova vzorce:

$$R = 6372,795 \text{ km}$$

$$\Delta lat = lat_2 - lat_1$$

$$\Delta long = long_2 - long_1$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right)$$

$$c = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right)$$

$$d = R \cdot c$$

7.3.2. Vincentův vzorec

Vincentův vzorec počítá vzdálenost dvou bodů na eliptických plochách. Díky tomu je přesnější než Haversinův, ale také složitější. Při výpočtu vzdálených bodů několik kilometrů můžeme dosáhnout přesnosti až 10 mm. Při použití výpočtu bližších bodů získáme výsledek, až na několikátou iteraci. To prodlužuje délku výpočtu. Více o Vincentovu vzorci [8]

7.3.3. Výpočet vzdálenosti pro Seeeduino

Z pohledu složitosti je vhodnější výpočet podle Haversinova vzorce. Pro zapsání výpočtu v jazyce Wiring je použita knihovna math.h, která je uzpůsobená pro výpočty funkcí na Atmel čípech a je součástí instalace programovacího prostředí. Pro výpočet je použit následující kód.

```
diflat=radians (lat2-lat1); //rozdil zemepisne sirky
diflon=radians (lon2-lon1); //rozdil zemepisne delky
lat_1_rad= radians (lat1); // prevod na radialy
lat_2_rad= radians (lat2); //prevod na radialy

a = (sin (diflat/2.0)* sin (diflat/2.0))+ cos (lat_1_rad)* cos (lat_2_rad)* sin (diflon/2.0)* sin (diflon/2.0);
c=(2*atan2 (sqrt (a) , sqrt (1.0-a)));
vzdalenost=6372795.0*c

Serial.println ("vzdalenost = " );
Serial.println (vzdalenost);
```

7.3.4. Výpočet azimutu pro Seeeduino

Pro výpočet azimutů k žádanému bodu se používá následující funkce [9]:

$$\theta = \arctg \left(\frac{\sin(long_2 - long_1) \cdot \cos(lat_2)}{\cos(lat_1) \cdot \sin(lat_2) - \sin(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \cos(long_2 - long_1)} \right)$$

Tímto výpočtem provedeme výpočet v radiánech a výsledkem musíme ještě převést na stupně.

$$\theta_{deg} = \frac{\theta \cdot 180}{\pi}$$

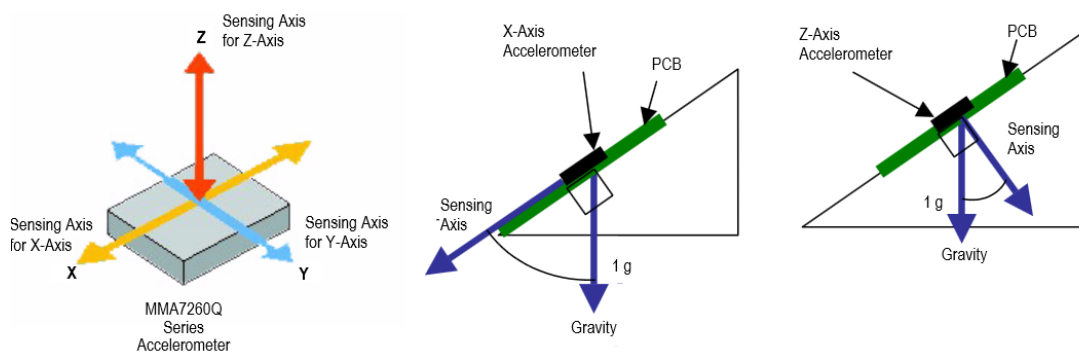
Na základě tohoto výpočtu vypadá kód v programovacím jazyce Wiring takto:

```
azimut = atan2 (sin (lon2-lon1)* cos (lat2) , cos (lat1)* sin (lat2) - sin (lat1)* cos (lat2)* cos (lon2-lon1));
azim_deg = azimut*180/3.1415926535;// prevedeni na stupne
int smer =azim_deg;
if (smer<0){ // prevod na kladny smer v pripade zaporneho
    smer+=360;
}

Serial.println ("smer k bodu:");
Serial.println (smer);
```

7.4. Čtení hodnot z akcelerometru a následné určení rychlosti a náklonu

Pro čtení hodnot z akcelerometru slouží analogové vstupy A3, A4, A5 pro osy X, Y, Z. Pro naše měření budeme používat rozsah $\pm 1,5g$, tento rozsah je nastaven bez použití přepínačů rozsahu. Používaný modul ACC7260 používá akcelerometr MMA7260.

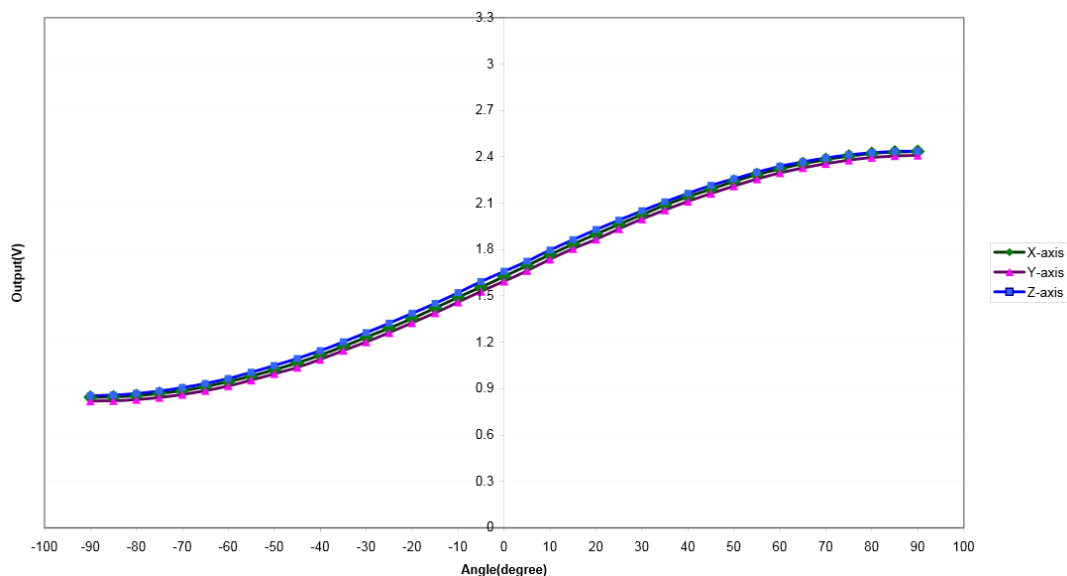


Obr. 7.4.1 - Umístění akcelerometru [13]

Průběh hodnot z akcelerometru je v rozmezí od 0V do napájecího napětí 3,3V. Nulové zrychlení tak odpovídá hodnotě 1,65V. Pro informaci o zrychlení musíme tuto hodnotu vypočítat pomocí vzorce sloužícího pro převod naměřeného napětí na analogových vstupech na odpovídající hodnotu. Ve výpočtu se počítá s měřicím rozsahem analogových vstupů, rozlišením, hodnotě nulového zrychlení a citlivosti akcelerometru.

```
float aax = ((x*5000.0)/1023.0)-1.65)/0.8;
float aay = ((y*5000.0)/1023.0)-1.65)/0.8;
float aaz = ((z*5000.0)/1023.0)-1.65)/0.8;
```

Na základě datové listu MMA7260 je zjištěn průběh výstupu při naklápění akcelerometrem. Průběh výstupů pro jednotlivé osy akcelerometru [13].



Obr. 7.4.2 – Průběh výstupního napětí na náklon

Pro výpočet náklonu akcelerometru slouží vzorec:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{V_{out}-V_{offset}}{\frac{\Delta V}{\Delta g}}\right) \qquad \alpha = \arcsin\left(\frac{V_{out}-1.65}{0.800}\right)$$

Výpočet naklonění ve stupních v programovacím jazyku:

```
alfa = asin((Voutx-1.65)/0.8)*180/3.141592;
beta = asin((Vouty-1.65)/0.8)*180/3.141592;
gama = asin((Voutz-1.65)/0.8)*180/3.141592;
```

7.5. Kompenzace odchylky kompasu při náklonu

Při čtení hodnot z dvouosého kompasu průjezdem terénem začne kompas ukazovat chybu způsobenou náklonem kompasu. Tento jev je zapříčiněn magnetickou složkou země, která směřuje do středu země. Pro správnou hodnotu směru kompasu je nutno provést korekci naklonění kompasu.

Pro korekci použijeme hodnotu naklonění z tříosého akcelerometru a naměřené horizontální složky kompasu CMPS03. Horizontální složky magnetického pole se dají zjistit z registrů kompasu 4,5 pro složku X osy kompasu a 6,7 pro složku Y osy kompasu. Pro kompenzační výpočet musíme hodnoty pro osy X a Y normalizovat výpočtem [14]:

$$X_{mc} = (Hex - Bias_x) \cdot SF_x$$

$$Bias_x = \frac{Hex_{max} + Hex_{min}}{2}$$

$$SF_x = \frac{2}{Hex_{max} - Hex_{min}}$$

Kde X_{mc} je normalizovaná hodnota výstupu a Hex_{max} a Hex_{min} jsou výstupní hodnoty kompasu pro osu X. Pro osu Y se aplikuje stejný výpočet jako pro osu X.

Pro výpočet korigovaného úhlu kompasu musíme vypočítat normalizovanou složku Z_{mc} magnetického pole. Odvození výpočtu dle článku [14]:

$$X_{mc}^2 + Y_{mc}^2 + Z_{mc}^2 = 1$$

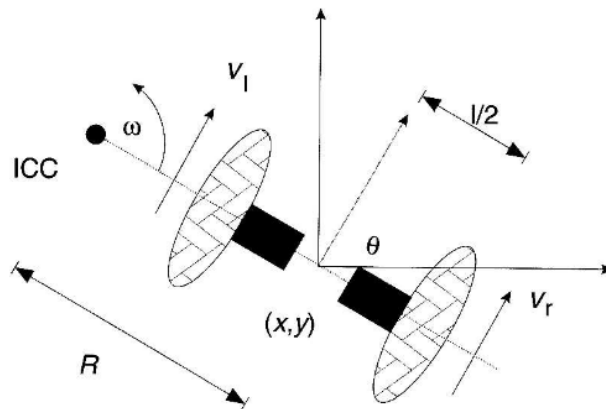
$$Z_{mc} = \pm \sqrt{1 - (X_{mc}^2 + Y_{mc}^2)}$$

Výpočet korigovaného azimutu kompasu s použitím normalizovaných složek magnetického pole, uhlů náklonu kompasu a místní deklinační úhel γ . Pro Ostravu $\gamma = 4^\circ 8' \text{ East}$ [10].

$$\varepsilon = \arctg\left(\frac{-Y_{mc} \cdot \cos\varphi + Z_{mc} \cdot \sin\varphi}{X_{mc} \cdot \cos\theta + Y_{mc} \cdot \sin\theta + Z_{mc} \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi}\right) - \gamma$$

7.6. Směřování k zadaným souřadnicím

Program jízdy směrem k zadanému bodu je založen na rozdílu vypočteného směru mezi aktuálním a cílovým bodem. Na základě hodnoty rozdílu je realizováno zatáčení robotu směrem k cíli. Robot je chopen se otáčet na místě, kde je málo místa, ale také zatáčet po daném poloměru podle využití. Otáčení na místě je vhodné pro rychlou změnu směru na malém prostoru, ale může dělat problém v terénu, kde jedno kolo stojí a druhé dvě kola na jedné straně prokluzují. Pro je vhodnější otáčení po poloměru, který se může měnit s úhlem otáčení. Výpočet rychlostí kol na pravé a levé straně pro zatočení o úhel odchylky na R poloměru [15].



Obr. 7.6.1 – Otáčení kolem bodu

$$V_r = \omega \cdot \left(R + \frac{l}{2} \right)$$

$$V_l = \omega \cdot \left(R - \frac{l}{2} \right)$$

$$\omega = \frac{V_r - V_l}{l}$$

Výpočet pro zatáčení s minimální rychlostí vnitřního kola zatáčení.

$$V_r = V_l + \omega \cdot l$$

Z odvozeného vzorce je naprogramovaný výpočet pro řízení motorů:

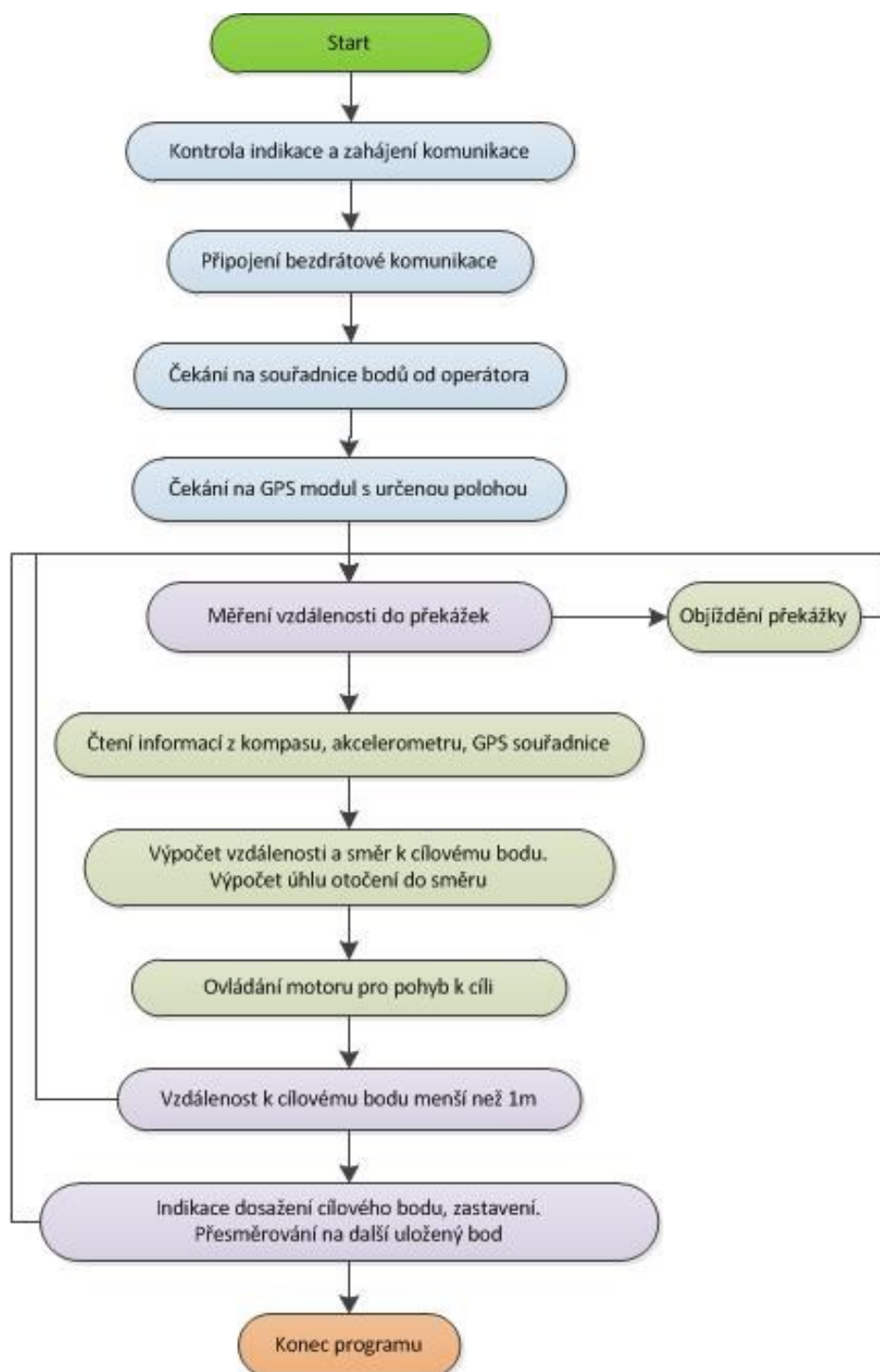
```
void loop() {
  s_vyp=s_min+roz_smer*l; // vypocet rychlosti kola
  if (s_vyp>=120) { // omezeni maximalni rychlosti motoru
    s_vyp=120;
  }
  qik.setM0Speed(s_min); // prikaz mototorum o rychlosti
  qik.setM1Speed(s_vyp); // prikaz mototorum o rychlosti
}
```

7.7. Objíždění překážky

Pro objíždění překážek existují metody vytvářené mapy okolí, ve kterém se robot pohybuje a následně vyhýbá překážkám. Tento způsob vyžaduje větší nároky na paměť a výpočetní výkon, než má navržený systém. Proto je objíždění řešeno směrem nejbližší překážky a krátkodobou odchylkou od kurzu k zadanému bodu.

7.8. Průběh posloupnosti programu

Pro fungování průzkumného robotu je navržena posloupnost kroků Obr. 7.8.1.



Obr. 7.8.1 – Schéma posloupnosti programu

Při zapnutí programu jsou zkontrolovány indikační kontrolky rozsvícením. Následuje vyčkání na spojení s operátorským pracovištěm a přijetí cílových souřadnic nebo potvrzení uložených souřadnic. Po určení polohy GPS modulem je spuštěna hlavní část programu, kde je spuštěno měření vzdálenosti od překážek a na základě informací o poloze, směru a náklonu vypočítán směr k cíli. V případě objevení překážky je spuštěna smyčka objíždění, po které se vrací program k dosažení cíle. Při dosažení cíle je oznámeno dojetí do cíle a robot by se měl zastavit na dobu minimálně 3 sekundy. V případě následujícího bodu je robot přesměrován k dalšímu cíli. Po projetí poslední uložené souřadnice bodu program končí.

8. Ekonomické zhodnocení nákladů na realizaci robotu

Náklady na realizaci průzkumného robotu					
	Komponent	Počet	Poloto var	Cena / kus	Cena
1	Podvozek Dagu Wild Thumper 6WD	1		8379 Kč	8397 Kč
2	Pololu Qik 2s12v10 Dual Seriál Motor Controler	1		2155 Kč	2155 Kč
3	Kompas – CMOS03	1		1194 Kč	1194 Kč
4	Akcelerometr – AAC7260	1		583 Kč	583 Kč
5	Sonary - SRF08	5		1366 Kč	6830 Kč
6	Radiomodul XBee Pro SS 868	2		2340 Kč	4680 Kč
7	XBee Explorer USB	1		449 Kč	449 Kč
8	Arduino Shield – Xbee w/o RF module	1		374 Kč	374 Kč
9	Akumulatro RC – Battery Pack Nosram 7.2V, 3600mAh	2		625 Kč	1250 Kč
10	Gps modul - LS20031	1		1436 Kč	1436 Kč
11	Mikrokontroler - Seeeduino Mega v1.22	1		883 Kč	883 Kč
12	Nouzový vypínač	1		144 Kč	144 Kč
13	Vypínač robotu	2		53 Kč	106 Kč
14	Plexisklo	0.5 m ²		300 Kč	300 Kč
15	RSMA konektory	2		45 Kč	90 Kč
16	Koaxiální kabel	1		30 Kč	30 Kč
17	Anténa 868 MHz RSMA	2		300 Kč	600 Kč
18	Distanční sloupky	50		2 Kč	100 Kč
19	3D výtisky	1		500 Kč	500 Kč
20	Trubičkové konektory	3		10 Kč	30 Kč
21	Kabel 0.7 mm ²	2		14 Kč	28 Kč
22	USB – USB mini 20cm	1		42 Kč	42 Kč
23	USB - USB	1		47 Kč	47 Kč
Celková odhadovaná cena nástavby (v Kč)					30 248 Kč

Tab. 8.1 – Náklady na realizaci

V tabulce nákladů jsou uvedeny pořizovací ceny použitých elektronických komponentů a spojovacího materiálu. Dále vypočtené náklady na výrobu krytu a uchycení elektroniky.

9. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat vhodný řídicí systém a senzorický subsystém na stávající mobilní platformu. Zohlednit nasazení robotu v soutěžích a vybavit robot základním reakčním chováním. V úvodní části byla provedena analýza stávajících dostupných mobilních platforem vhodných pro použití průzkumné činnosti a již realizované autonomní průzkumné roboty. Na základě rešerše byl vypracován požadavkový list. Následující část popisuje dvě navržené varianty řešení řídicího systému průzkumného robotu a výběr vhodnější varianty pro realizaci dle srovnávaných parametrů. Třetí část je věnována zapojení jednotlivých komponentů vybrané varianty. Čtvrtá část se zabývá vhodným umístěním senzoru a řídicího systému. Součástí je také návrh krytování elektroniky. Poslední část diplomové práce je věnována programování komunikace navržených senzorů a řídicí jednotky. Závěrem této části je způsob programování základního reakčního chování robotu.

Navržený řídicí systém používá Open Source platformu, která má výhodu všech dostupných informací o řídicím systému. Toto vede ke zlevnění řídicího systému a širšímu použití kompatibilních senzorů. Někteří výrobci nebo prodejci dokonce poskytují ke stažení základní knihovny pro komunikaci. Tyto knihovny jsou užitečné hlavně pro začátečníky a pro zrychlení a zjednodušení programování. Řídicí systém disponuje velkým množstvím vstupů a výstupů, které jsme využili jen nepatrně. Toto dělá řídicí systém jednoduše rozšiřitelným o doplňkové senzory.

Při návrhu umístění senzorů bylo využíváno CAD systému CREO 2.0, držáky byly vymodelovány. Jejich konečnému umístění předcházelo ověření správné funkce senzoru na zkušební pracovní verzi osazení. Při realizaci zkušebního osazení bylo vyzkoušeno možné upořádání, aby elektronika zabírala co nejméně místa. Na základě poznatků z pracovní verze byla navržena finální varianta umístění, která upravila nalezené nedostatky navržených senzorů. Realizací 3D návrhu umístění byl navržen kryt využívající výrobu pomocí 3D tisku a CNC vyřezáváním, jímž jsou vyrobeny plexisklové kryty. Při použití plexiskla je na jednotlivé kontrolky komponentů dobře vidět a můžeme tak zjistit případný problém při programování. Při programování se ukázalo jako velice přínosné navržení přípojného USB konektoru do krytu robotu.

Zkoumání reakčního chování robotu obnášelo delší odladění jednotlivých částí programu. Mezi nejsložitější patří elektronická kompenzace naklonění dvouosého magnetického kompasu a výpočet vzdálenosti dvou bodů. Při zkoušce dosažení cíle byl

robot schopen dojet k cílovému bodu v rozmezí 0.5 až 2 m. Bezdrátová komunikace v městském prostředí dosahovala 460 metrů.

Náklady na nákup a realizaci průzkumného robotu dosáhly 30 248 Kč.

Navržený průzkumný robot může sloužit jako základ pro rozšíření o řídicí systém vyšší úrovně, který by mohl obrazově rozpoznávat cestu a vytvářet mapu prostředí

10. Použitá literatura

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB – TU Ostrava, 2004.144s. ISBN 80-248-0626-6
- [2] NOVÁK, P.: *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. Nakladatelství BEN – technická literatura, Praha, 2005.
- [3] JONES, Joseph L., SEIGER, Bruce A., FLYNN, Anita M.: *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*, 1998
- [4] John Holland: *Designing autonomous mobile robots*, Elsevier: Burlington USA 2004; ISBN 0-7506-7683-3
- [5] NOVÁK, P.: *Průmyslové řídicí systémy I*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011
- [6] NOVÁK, P.: *Průmyslové řídicí systémy I*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011
- [7] Haversine formula. Wikipedia. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www: http://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula
- [8] Vincenty's formula. Wikipedia. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www: http://en.wikipedia.org/wiki/Vincenty's_formulae
- [9] Calculate distance, bearing and more between two latitude/longitude points. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www: <http://www.ig.utexas.edu/outreach/googleearth/latlong.html>
- [10] Find the magnetic declination at your location. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www: <http://magnetic-declination.com/>

11. Seznam příloh

Výkresová dokumentace:

- [11] Zapojení řídicího systému

Katalogy:

- [12] LOCOSYS datasheet of GPS smart antenna module. LOCOSYS Technology Inc. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/LS20030~3_datasheet_v1.2.pdf):
https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/Modules/LS20030~3_datasheet_v1.2.pdf
- [13] Measuring Tilt with Low-g Accelerometers. Freescale Semiconduction. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3107.pdf):
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3107.pdf
- [14] A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices. Seong Yun Cho and Chan Gook Park. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://etrij.etri.re.kr/Cyber/Download/PublishedPaper/2703/27-03-06.pdf):
<http://etrij.etri.re.kr/Cyber/Download/PublishedPaper/2703/27-03-06.pdf>
- [15] Differential Drive Robots – Computation Principles of Mobile Robotics. Dudek and Jenkin. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.cs.columbia.edu/~allen/F11/NOTES/icckinematics.pdf):
<http://www.cs.columbia.edu/~allen/F11/NOTES/icckinematics.pdf>

Online katalogy výrobců:

- [16] Lynxmotion A4WD1 v2. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.lynxmotion.com/c-111-no-electronics-kit.aspx):
<http://www.lynxmotion.com/c-111-no-electronics-kit.aspx>
- [17] Dagu Wild Thumper 4WD All-Terrain Chassis, Black, 75:1. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.pololu.com/catalog/product/1567):
<http://www.pololu.com/catalog/product/1567>
- [18] Dagu Wild Thumper 6WD All-Terrain Chassis, Black, 75:1. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.pololu.com/catalog/product/1563):
<http://www.pololu.com/catalog/product/1563>
- [19] Maverick Scout RC 4WD 2.4GHz RTR Rock Crawler. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.rcata.cz/zbozi/8115/Maverick-Scout-RC-4WD-2-4GHz-RTR-Rock-Crawler.htm):
<http://www.rcata.cz/zbozi/8115/Maverick-Scout-RC-4WD-2-4GHz-RTR-Rock-Crawler.htm>
- [20] Lynxmotion Tri-Track. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.lynxmotion.com/c-120-no-electronics-kit.aspx):
<http://www.lynxmotion.com/c-120-no-electronics-kit.aspx>
- [21] The Journey Robot. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/jbot/):
<http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/jbot/>
- [22] iRobot SUGV. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z [www](http://www.irobot.com/us/robots/defense/sugv.aspx):
<http://www.irobot.com/us/robots/defense/sugv.aspx>

- [23] GHI Electronics. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
<http://www.ghielectronics.com/catalog/category/265>
- [24] Qik 2s12v10. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
<http://www.pololu.com/catalog/product/1112>
- [25] Seeeduino Mega 1280. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
http://www.seeedstudio.com/depot/seeeduino-mega-p-717.html?cPath=132_133
- [26] LOCOSYS LS20031 GPS. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
<https://www.sparkfun.com/products/8975>
- [27] SRF08. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.shtml>
- [28] CMPS03. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cms3tech.htm>
- [29] ACC7260. [cit. 2013-5-17]. Dostupné z www:
http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&products_id=306
- [30] DARPA Grand Challenge. [cit. 2013-5-17].Dostupné z www:
https://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge
- [31] Roboorienteering. [cit. 2013-5-17].Dostupné z www:
<http://www.vosrk.cz/roboorienteeing/index.php?year=2013&page=pravidla>

12. Použité obrázky

Obr. 1.2.1.1 - Ackermanuv způsob řízení	12
Obr. 1.2.1.2 - Synchronní způsob řízení	13
Obr. 1.2.1.3 - Diferenční způsob řízení.....	13
Obr. 1.2.1.1.1 - Mobilní platforma Linxmotin A4WD1 v2	13
Obr. 1.2.1.1.2 – Vnitřní prostor konstrukce platformy	14
Obr. 1.2.1.2.1 – Dagu Wild Thumper 4WD.....	14
Obr. 1.2.1.2.2 – Uložení motorů a kol ke konstrukci	15
Obr. 1.2.1.3.1 – Wild Thumper 6WD	16
Obr. 1.2.1.4.1 – Maverick Scaut RC 4WD	17
Obr. 1.2.1.4.2 – Řízení pomocí serva.....	18
Obr. 3.1.1.1 – Seeeduino Mega 1280.....	23
Obr. 3.1.2.1 - Qik 2s12v10.....	24
Obr. 3.1.3.1 – Locosys LS20031 GPS	25
Obr. 3.1.4.1 - CMPS03	26
Obr. 3.1.5.1 – SRF08	27
Obr. 3.1.6.1 - ACC7260.....	27
Obr. 3.1.7.1- Arduino Xbee Shield	28
Obr. 3.1.8.1 – XBee PRO 868.....	29
Obr. 3.1.9.1 - Schéma zapojení varianty A	30
Obr. 3.2.1.1 – FEZ Spider Mainboard	31
Obr. 3.2.2.1 – Motor Driver IRF7862PBF	32
Obr. 3.2.3.1 - U-Blox Neo-6M GPS	32
Obr. 3.2.4.1 - Gadgeteer Compas module.....	33
Obr. 3.2.5.1 - . NET Gadgeteer Accelerometr	33
Obr. 3.2.6.1 - XBee Adapter module	34
Obr. 3.2.7.1 - Schéma zapojení varianty B	35
Obr. 4.7.1 – Zapojení a zpracování Seeeduina Mega 1280.....	39
Obr. 4.7.2 – Schéma zapojení ACC7260	40
Obr. 4.7.3 – Schéma zapojení XBee Shield.....	41
Obr. 6.1.1 – Zobrazení nedostačujícího umístění měřícího prostoru	42
Obr. 6.1.2 - Pracovní verze osazení	43
Obr. 6.1.3 - Schéma rozmístění ultrazvukových sonarů	44
Obr. 6.1.4 – Uchycení Ultrazvukových sonarů na podvozku	44
Obr. 6.2.1 – Umístění GPS modulu a akcelerometru.....	45
Obr. 6.3.1 – Umístění Arduina a Qik 2s12v10	46
Obr. 6.4.1 - Umístění hlavních vypínačů a bezpečnostního vypínače	46
Obr. 6.5.1 - Experimentální měření vzdálenosti kompasu	47
Obr. 6.5.2 – Návrh finální umístění kompasu	47
Obr. 6.6.1 - Umístění kamer na průzkumném robotu	48
Obr. 7.4.1 - Umístění akcelerometru [7]	53
Obr. 7.4.2 – Průběh výstupního napětí na náklon	53
Obr. 7.6.1 – Otáčení kolem bodu	55
Obr. 7.8.1 – Schéma posloupnosti programu	56

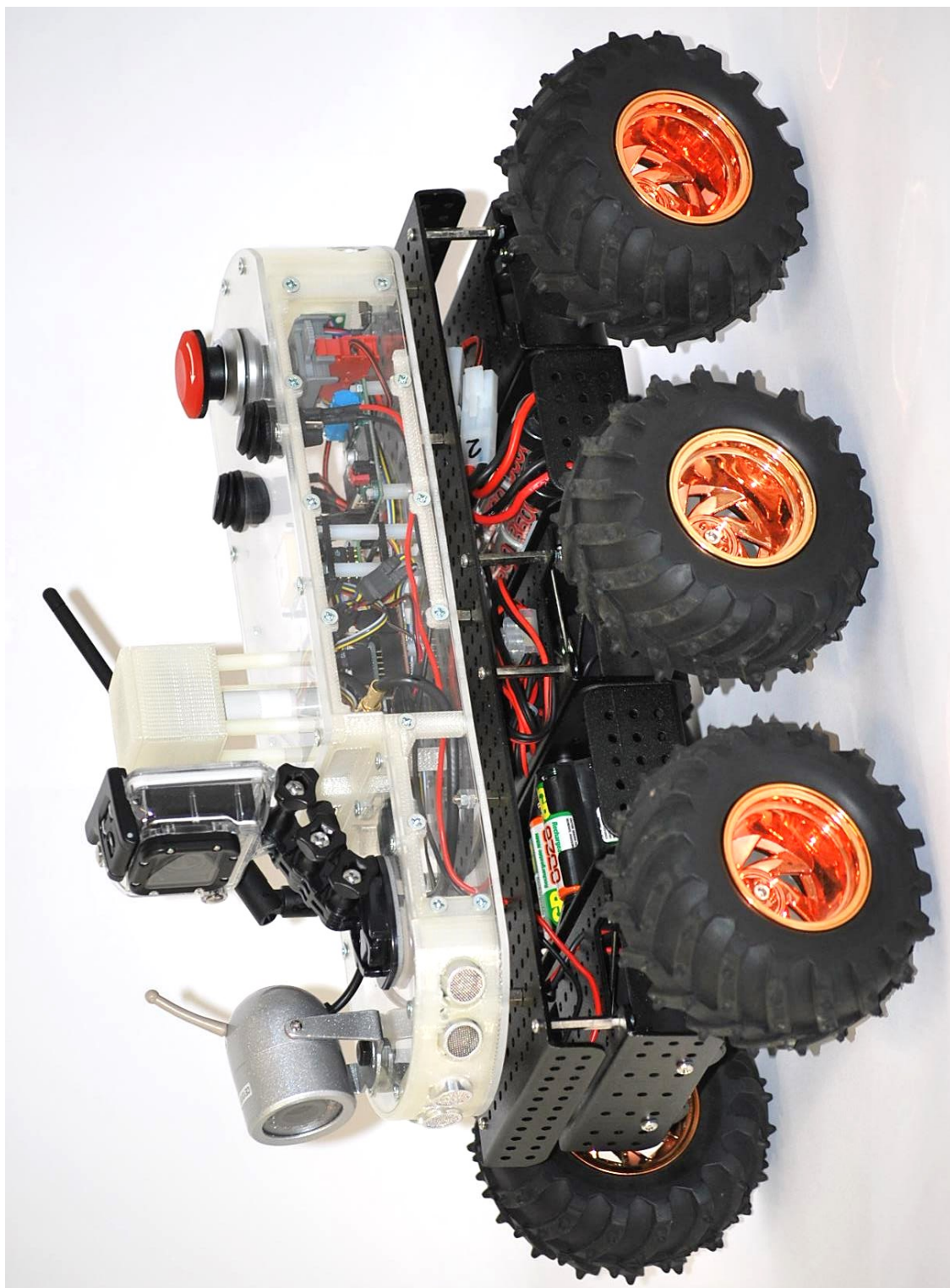
13. Použité tabulky

Tab. 1.1 – Parametry Linxmotin A4WD1 v2.....	14
Tab. 1.2 – Parametry Dagu Wild Thumper 4WD	15
Tab. 1.3 – Parametry Dagu Wild Thumper 6WD	16
Tab. 1.4 – Parametry Maverick Scout RC 4WD	17
Tab. 2.2.1 – Požadavkový list	22
Tab. 3.1 – Parametry Seeeduino Mega 1280	24
Tab. 3.2 – Parametry Qik 2s12v10.....	25
Tab. 3.3 – Parametry LOCOSYS LS20031	26
Tab. 3.4 – Parametry CMPS03	26
Tab. 3.5 – Parametry SRF08	27
Tab. 3.6 – Parametry ACC7260.....	28
Tab. 3.7 – Parametry Arduino XBee Shield	28
Tab. 3.8 – Parametry XBee PRO 868	29
Tab. 3.9 – Ekonomické zhodnocení varianty A	30
Tab. 3.10 - Parametry FEZ Spider Mainboard.....	31
Tab. 3.11 – Parametry Motor Driver IRF7862PBF	32
Tab. 3.12 – Parametry U-Blox Neo-6M GPS	33
Tab. 3.13 – Parametry Gadgeteer Compas module.....	33
Tab. 3.14 – Parametry Gadgeteer Accelerometer module	34
Tab. 3.15 – Parametry XBee Adapter module	34
Tab. 3.16 – Ekonomické zhodnocení varianty B	35
Tab. 4.1 – Hodnoty kritérií.....	36
Tab. 4.2 - Významnosti kritérií	36
Tab. 4.3 Kritéria výběru	36
Tab. 4.4 – Váha významnosti.....	37
Tab. 4.5 – Hodnocení kritéria 1	37
Tab. 4.6– Hodnocení kritéria 2	37
Tab. 4.7– Hodnocení kritéria 3	37
Tab. 4.8– Hodnocení kritéria 4	37
Tab. 4.9– Hodnocení kritéria 5	38
Tab. 4.10 - Určení vážených indexů variant	38
Tab. 4.11 – Výsledek hodnotové analýzy	38
Tab. 7.1 – I ² C adresy SRF08.....	49
Tab. 7.2 – Věty protokolu NMEA 0183 využívané GPS modulem.....	50
Tab. 8.1 – Náklady na realizaci.....	58

14. Přílohy

14.1. Fotky realizace průzkumného robotu





14.2. Pravidla soutěže RoboOrientnering

14.2.1. Úkol:

Úkolem robotů je se v zadaném časovém limitu 30 minut dostat do předepsaného cílového místa. Na trase mohou být určeny kontrolní body, kterými musí robot projet. Po dosažení cílového bodu nebo po uplynutí časového limitu se robot musí zastavit. Trasa, kterou se bude robot pohybovat není předepsána, jediné omezení je dáno tím, že robot nesmí poškozovat prostředí. Důraz je kladen na pohyb v rozmanitém terénu a vyhýbání se překážkám.

14.2.2. Organizace:

- Soutěž se bude skládat ze tří kol, v každém z nich bude jiná trasa.
- Souřadnice místa startu, cíle a kontrolních bodů budou týmu předány 15 minut před startem robota. V terénu bude start, cíl a kontrolní body výrazně označeny (oranžové kužely).
- Pořadí kontrolních bodů na trase může, ale nemusí být předepsáno.

14.2.3. Start:

- Roboty startují v daném kole jednotlivě v nálosovaném pořadí v 5 minutových intervalech.
- Robota odstartuje člen týmu na pokyn rozhodčího.
- Zodpovědný člen týmu doprovází robota po celou dobu pokusu.

14.2.4. Ukončení pokusu:

- zastavení robota po dosažení cílového bodu
- uplynutí časového limitu
- robot se více než 1 minutu nepohybuje
- ukončení pokusu rozhodčím z důvodu vyjetí roboty z vymezeného prostoru - diskvalifikace robota v daném kole = 0 bodů
- ukončení pokusu rozhodčím z důvodu nebezpečného počínání robota - diskvalifikace robota v daném kole = 0 bodů
- ukončení pokusu členem týmu - diskvalifikace robota v daném kole = 0 bodů

14.2.5. Dosažení cíle a kontrolních bodů:

- Za dosažení cíle nebo kontrolního bodu bude považováno zastavení (na minimálně 3s) robota v menší vzdálenosti než je 2,5m od tohoto bodu (oblast bude kolem bodu vyznačena) a zvukové nebo světelné oznámení robota, že je na místě. (Stačí, aby část robota byla ve vyznačené oblasti.)
- Přesné dosažení bodu přímým dotykem robota je bodově zvýhodněno (robot však nesmí kužel označující bod skáčet nebo jinak poškodit).

14.2.6. Hodnocení:

- Robot získává body odpovídající nejkratší vzdálenosti trasy Start - K1 - ... - Cíl. Neabsolvuje-li robot platný průjezd kontrolním bodem, je bodové hodnocení jako by jel přímo na následující kontrolní bod, resp. cíl.
- Pokud robot nedosáhne cílového bodu je hodnocení sníženo o počet metrů, které robotu zbývají nejkratší cestou do cíle.
- Pokud robot získá bonus za přímý dotyk cíle nebo kontrolního bodu je mu dosažený počet bodu násoben koeficientem 1,2 za každý prémiový dotyk. Příklady hodnocení jsou uvedeny v dodatku C.
- Celkové pořadí je dáno dle součtu bodů z jednotlivých kol.

14.2.7. Parametry robotů:

- Velikost robotů není omezena, hmotnost je omezena potřebou přepravy robota na několik desítek metrů (cca 25kg).
- Maximální rychlost je omezena na 2m/s z důvodu dosažitelnosti v případě nutnosti nouzového zastavení.
- Mezi povolené zdroje energie patří pružiny, stlačený plyn, sluneční články, všechny typy komerčně dostupných baterií a energetických článků (maximální napětí palubního zdroje je 48V).
- Mezi zakázané zdroje energie patří veškeré spalovací motory, raketové motory, vodíkové palivové články a všechny další typy zdrojů energie používající hoření, pyrotechniku, živé bytosti nebo radioaktivní energii.
- Robot musí být vybaven červeným stop tlačítkem o minimálním průměru 2cm, které slouží k nouzovému odpojení zdrojů a zastavení robota.
- Řízení robota musí být zcela autonomní, není povoleno ani dálkové řízení externím počítačem. Veškeré vybavení si musí vzt robot sám. Pro navigaci nejsou povoleny žádné externí zařízení (majáky, DGPS) kromě využití systému GPS.

- Senzory pro detekci překážek nejsou omezeny, je možné používat i dotykové snímače, za předpokladu, že jsou tak citlivé, že při kontaktu robota s překážkou nedojde k jejímu poškození.

14.2.8. Homologace:

- Tým se může zúčastnit soutěže, pokud ukáže, že robot je bezpečný a nepoškozuje svojí činností okolí.
- Nutnou podmínkou je ujet desetimetrový úsek s vyhnutím se překážce. Testována bude také funkce STOP tlačítka.
- Každý tým musí zajistit jednu osobu znalou pravidel, která bude během soutěžního dne vykonávat funkci rozhodčího.
- Součástí homologace je podepsání prohlášení zástupce týmu, že přebírá veškerou zodpovědnost za chování svého robota v průběhu soutěže.

14.2.9. Funkce rozhodčího:

- Předá zástupci týmu 15 minut před startem souřadnice startu, cíle a kontrolních bodů v písemné a elektronické podobě ve formátu WGS84 (formát ve stupních ddd.ddddd, ddd.ddddd, lat lon), viz. dodatek B.
- Vydává povel ke startu robota, spouští měření časového limitu.
- V případě nebezpečného chování robota jej zastavuje STOP tlačítkem a tím ukončuje pokus.
- Zastavuje robota při vyjetí z vymezeného prostoru závodu.
- Zastavuje robota po uplynutí časového limitu.
- Se zástupcem týmu provede zhodnocení pokusu a předání výsledků.